

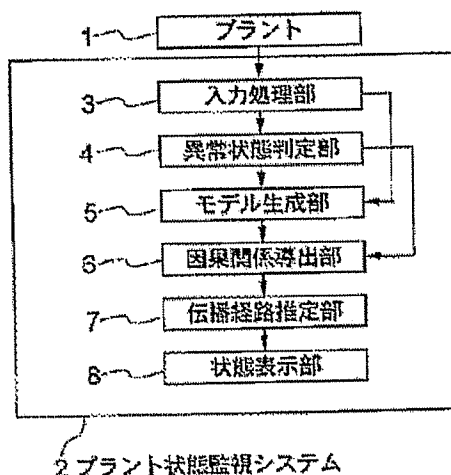
PLANT STATE MONITORING SYSTEM

Publication number: JP2001100835
Publication date: 2001-04-13
Inventor: YOSHIDA MEGUMI
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
Classification:
- international: G05B23/02; G05B23/02; (IPC1-7): G05B23/02
- European:
Application number: JP19990276480 19990929
Priority number(s): JP19990276480 19990929

Report a data error here

Abstract of JP2001100835

PROBLEM TO BE SOLVED: To speedily and easily simulate dynamic characteristic of a plant by applying an appropriate approximating model, to automatically estimate the propagation route of transiting the abnormal state of the plant when the abnormal state is discriminated, and to provide the estimated propagation route of the abnormal state to an operator as information easy to recognize as needed. **SOLUTION:** This plant state monitoring system is composed of an input processing part for inputting a measured observation, an abnormal state discriminating part for discriminating whether the plant is in the abnormal state corresponding to whether the observation is deviated out of an allowable range, a model-generating part for generating the approximate model for approximating the dynamic plant characteristics on the basis of a basic expression expressing the dynamic characteristics of the plant, a causality deriving part for deriving a causality between abnormal states showing the abnormal state, from which a certain abnormal state is generated, and a propagation route estimating part for estimating the propagation route of transiting the abnormal state, while using the observation at the time of discriminating the abnormal state of the plant in the abnormal state discriminating part and the causality between observations derived in the causality deriving part.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-100835

(P2001-100835A)

(43) 公開日 平成13年4月13日 (2001.4.13)

(51) Int.Cl.⁷
G 0 5 B 23/02

識別記号
3 0 2

F I
G 0 5 B 23/02

テーマコード* (参考)
E 5 H 2 2 3
3 0 2 N

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願平11-276480

(22) 出願日 平成11年9月29日 (1999.9.29)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 吉田 恵

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 10007/849

弁理士 須山 佐一

Fターム (参考) 5H223 AA03 BB02 CC08 DD03 EE06

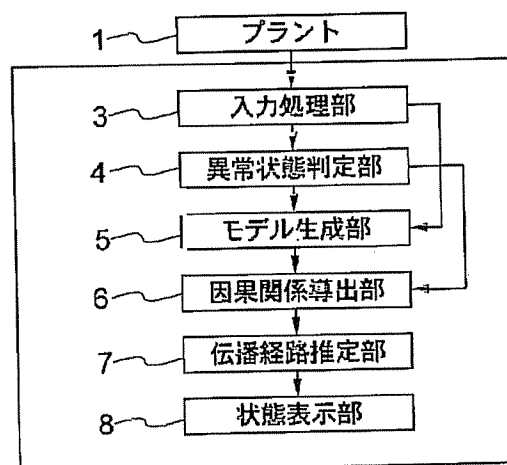
EE30 FF05 FF06

(54) 【発明の名称】 プラント状態監視システム

(57) 【要約】

【課題】 適切な近似モデルを適用することで、プラントの動特性の模擬を迅速かつ容易にし、プラントが異常状態であることが判明したときに、異常状態が推移してゆく伝播経路を自動的に推定することができるようにすると共に、必要に応じ、推定した異常状態の伝播経路を運転員へ認知し易い情報として提供できるようにする。

【解決手段】 測定された観測値を入力する入力処理部と、観測値が許容範囲から逸脱したか否かによってプラントが異常状態か否かを判定する異常状態判定部と、プラントの動特性を表した基本式に基づきプラント動特性を近似する近似モデルを生成するモデル生成部と、ある異常状態がどのような異常状態から発生し得るかという異常状態間の因果関係を導出する因果関係導出部と、異常状態判定部においてプラントが異常状態であると判定されたときの観測値と前記因果関係導出部において導出された観測値間の因果関係とを用いて、異常状態が推移する伝播経路を推定する伝播経路推定部とからなるプラント状態監視システムを構成する。



2 プラント状態監視システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラントの状態を監視するプラント状態監視システムにおいて、
前記プラントに設置された検出器により測定された観測値を入力する入力処理部と、
前記観測値が許容範囲から逸脱したか否かによって前記プラントが異常状態か否かを判定する異常状態判定部と、
前記プラントの動特性を表した基本式に基づき、該プラントが定常状態のときの観測値を振動点としたプラント動特性を近似する近似モデルを生成するモデル生成部と、
何れかの観測値が設定した許容範囲から逸脱したときに他の観測値が許容範囲から逸脱するか否かを前記近似モデルを用いて算出することで、ある異常状態がどのような異常状態から発生し得るかという異常状態間の因果関係を導出する因果関係導出部と、
前記異常状態判定部において前記プラントが異常状態で

$$\frac{d}{dt} [A_{n \times n}] \cdot \delta W_{n \times 1} \\ = B_{n \times n} \cdot \delta W_{n \times 1} + C_{n \times m} \cdot P_{m \times 1} + D_{n \times n} \cdot Ph_{n \times 1} + H_{n \times 1} \quad \dots (10)$$

【数2】

$$\frac{d}{dt} [E_{m \times n}] \cdot \delta W_{n \times 1} = 0 \quad \dots (13)$$

を用いることを特徴とする請求項3記載のプラント状態監視システム。

【請求項5】 前記モデル生成部では、
前記プラント動特性を近似する近似モデルとして伝達関数を用いたモデルを用いることを特徴とする請求項3記載のプラント状態監視システム。

【請求項6】 前記伝播経路推定部では、
ある異常状態からその発生元に遡って再びその異常状態に戻ってくるときにその経路上にある異常状態を同一の競合状態グループに属するとして異常状態を競合状態グループ毎に区分し、競合状態グループ間の異常状態の経路を求めることを特徴とする請求項1記載のプラント状態監視システム。

【請求項7】 前記伝播経路推定部における前記異常状態が推移する伝播経路の情報の提供を受けて、該異常状態が推移する伝播経路の情報を表示する状態表示部をさらに具備することを特徴とする請求項1記載のプラント状態監視システム。

【請求項8】 前記モデル生成部では、
前記プラント動特性を近似する近似モデルとして伝達関数を用いたモデルを用いると共に該伝達関数及び該伝達関数から算出される時定数の情報を前記状態表示部へ提供することを特徴とする請求項7記載のプラント状態監視システム。

【請求項9】 前記異常状態判定部において前記プラント

であると判定されたときの前記観測値と前記因果関係導出部において導出された前記観測値間の因果関係とを用いて、該異常状態が推移する伝播経路を推定する伝播経路推定部とを具備することを特徴とするプラント状態監視システム。

【請求項2】 前記異常状態判定部では、
現在の観測値と観測値に対数平均処理を施した対数平均値との差に基づき、観測値が許容範囲から逸脱したか否かを判定することを特徴とする請求項1記載のプラント状態監視システム。

【請求項3】 前記モデル生成部では、
前記プラント動特性を表した基本式が、プラント配管中を流れる流体の運動量保存則及びプラント配管の分岐点における流体の質量保存則に基づく式であることを特徴とする請求項1記載のプラント状態監視システム。

【請求項4】 前記モデル生成部では、
前記プラント動特性を近似する近似モデルとして
【数1】

トが異常状態であると判定された場合に、前記伝播経路推定部において推定された異常状態の伝播経路の最上流に位置する異常状態に対応した前記プラントの補修要領の情報を前記状態表示部に提供する補修要領記憶部を具備することを特徴とする請求項7記載のプラント状態監視システム。

【請求項10】 前記補修要領記憶部では、
補修要領の優先順が記憶され、かつ前記伝播経路推定部で推定された伝播経路の最上流に位置する異常状態が複数存在する場合には該記憶されている補修要領の優先順に従って最も優先度の高い補修要領の情報を前記状態表示部に提供することを特徴とする請求項9記載のプラント状態監視システム。

【請求項11】 前記異常状態判定部において前記プラントが異常状態であると判定された場合に、前記伝播経路推定部において推定された伝播経路の最上流に位置する異常状態に対応した前記プラントの操作要領の情報を前記状態表示部に提供する操作要領記憶部であって、補修要領の優先順が記憶され、かつ該伝播経路の最上流に位置する異常状態が複数存在する場合には該記憶されている操作要領の優先順に従って最も優先度の高い操作要領の情報を前記状態表示部に提供する操作要領記憶部をさらに具備することを特徴とする請求項7記載のプラント状態監視システム。

【請求項12】 前記異常状態判定部において前記プラ

ントが異常状態であると判定された場合に測定された観測値と前記モデル生成部において生成された近似モデルとを用いて、前記判定された異常状態からの推移を予測すると共に、該予測された異常状態の推移を前記状態表示部に提供する事象推移予測部をさらに具備することを特徴とする請求項7記載のプラント状態監視システム。

【請求項13】 前記事象推移予測部で予測された異常状態の推移を測定された観測値と比較することによって、前記プラントに設置された検出器が異常であるか否かを判定すると共に、該検出器が異常と判定された場合に異常と判定された検出器の情報を前記状態表示部に提供するセンサー診断部をさらに具備することを特徴とする請求項7記載のプラント状態監視システム。

【請求項14】 前記プラントを制御する制御システムの制御条件を表した数式モデルに基づいて制御の対象となる観測値の制御目標値を算出し、該制御目標値と測定された観測値とを比較することによって該制御システムが異常であるか否かを判定すると共に、該制御システムが異常であると判定した場合に該異常と判定した制御システムを特定する情報を前記状態表示部に提供する制御系診断部をさらに具備することを特徴とする請求項7記載のプラント状態監視システム。

【請求項15】 前記事象推移予測部において予測された異常状態の推移に基づき、前記観測値がインターロックの作動する限界値に到達するインターロック作動予定時間及び作動が予定されたインターロックの情報を登録し、該インターロック作動予定時間を過ぎても作動が予定されたインターロックが作動しないときに該インターロックが異常であると判定すると共に、該異常と判定したインターロックを特定する情報を前記状態表示部に提供するインターロック診断部をさらに具備することを特徴とする請求項12記載のプラント状態監視システム。

【請求項16】 前記異常状態判定部において異常状態でないと判定されているときに前記モデル生成部において生成された近似モデルを用いて、該異常状態の発生原因それぞれに対応した前記観測値の変化方向を算出して発生原因ごとの該観測値の変化パターンを登録する変化方向導出部と、前記異常状態判定部において前記異常状態であると判定されたときに測定された該観測値の変化パターンを該登録された観測値の変化パターンと比較することによって、該異常状態の発生原因を推定し、該推定した異常状態の発生原因の情報を前記状態表示部に提供する異常原因同定部と、をさらに具備することを特徴とする請求項7記載のプラント状態監視システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば原子力発電プラント、火力発電プラント、化学プラント等の大規模

プラントの状態を自動的に監視するプラント状態監視システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 一般に、原子力発電プラント等の大規模なプラントでは、安定かつ安全に運転を継続するために、通常運転時はもとより、何らかの故障が発生した場合にも、各種プロセス状態の情報を運転員へ提供する監視制御システムが設けられている。運転員には、この監視制御システムより提供されるプロセス状態の情報に基づき、計画通りに運転されているか否かを判断し、プラントに故障が発生した場合には、状況を迅速に判断して適切な処置をとることが要求されている。

【0003】 したがって、プラントの運転状況に応じた適切な情報を運転員へ的確に提供することが、監視制御システムにとって最も重要となる。特に、異常の程度が大きい場合や状況が急速に変化する場合には、運転員に掛かる負担は大きなものとなり、誤判断を招く可能性がある。

【0004】 そこで、故障が軽微な段階において、これを検知し、異常の拡大を未然に防ぐことがプラントの安全運転確保にとって重要となる。異常拡大の未然防止はプラントの稼働率向上の観点からも望まれる。

【0005】 このため、従来からプラントの運転状態に応じた適切な情報を的確に運転員へ提供することを目的としたプラント状態監視システムの開発が行われている。

【0006】 この種のプラント状態監視システムとしては、警報の発生状況を基にプラントの運転状態を判定し、最も注意すべき警報に関連したプロセス情報を提供するものが開発されている。また、プラントの動特性を模擬する動特性モデルを利用したプラント状態監視システムの開発も行われている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、警報の発生状況を基にプラントの運転状態を判定する方式のプラント状態監視システムは、プラントに何らかの故障が検知された後に発生した事象を自動的に認知して、状況に応じたプロセス状態の情報を提示するものであり、警報の発生していない運転状態での異常発生時の故障の同定は運転員に委ねられている。

【0008】 一方、プラントの動特性を模擬した動特性モデルを利用したプラント状態監視システムでは警報の発生していない状況においても過渡状態の推移を推定することができる。しかしながら、過渡状態の原因が不特定の場合にもプラント挙動と同期を取って模擬しなければならないという要求があり、実用化は困難であった。

【0009】 本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、以下の目的を達成することによって運転員の状況判断を支援するプラント状態監視システムを提供せんとするものである。

【0010】(1)適切な近似モデルを適用することで、プラントの動特性の模擬を迅速かつ容易に行うことができるようにする。

【0011】(2)プラントが異常状態であることが判明したときに、異常状態が推移してゆく伝播経路を自動的に推定することができるようにする。

【0012】(3)必要に応じ、推定した異常状態の伝播経路を運転員へ認知し易い情報として提供することができるようにする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明は、プラントに設置された検出器により測定された観測値を入力する入力処理部と、前記観測値が許容範囲から逸脱したか否かによって前記プラントが異常状態か否かを判定する異常状態判定部と、前記プラントの動特性を表した基本式に基づき、該プラントが定常状態のときの観測値を摂動点としたプラント動特性を近似する近似モデルを生成するモデル生成部と、何れかの観測値が設定した許容範囲から逸脱したときに他の観測値が

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} [A_{nxn}] \cdot \delta W_{nx1} \\ &= B_{nxn} \cdot \delta W_{nx1} + C_{nxm} \cdot P_{mx1} + D_{nxn} \cdot Ph_{nx1} + H_{nx1} \quad \dots(10) \end{aligned}$$

【数4】

$$\frac{d}{dt} [E_{mxn}] \cdot \delta W_{nx1} = 0 \quad \dots(13)$$

あるいは伝達関数を用いたモデルを用いても良い。

【0016】さらに、前記伝播経路推定部では、ある異常状態からその発生元に遡って再びその異常状態に戻ってくるときにその経路上にある異常状態を同一の競合状態グループに属するとして異常状態を競合状態グループ毎に区分し、競合状態グループ間の異常状態の経路を求めても良い。

【0017】本発明は、前記伝播経路推定部における異常状態の伝播経路推定情報の提供を受けて、その情報を表示する状態表示部をさらに具備しても良く、前記モデル生成部において、前記プラント動特性を近似する近似モデルとして伝達関数を用いたモデルを用いると共に伝達関数及び伝達関数から算出される時定数の情報を前記状態表示部へ提供しても良い。

【0018】加えて本発明は、前記異常状態判定部において前記プラントが異常状態であると判定された場合に、前記伝播経路推定部において推定された異常状態の伝播経路の最上流に位置する異常状態に対応したプラントの補修要領の情報を前記状態表示部に提供する補修要領記憶部をさらに具備しても良く、更に前記伝播経路推定部で推定された伝播経路の最上流に位置する異常状態が複数存在する場合には記憶されている補修要領の優先順に従って最も優先度の高い補修要領の情報を前記状態表示部に提供しても良い。

許容範囲から逸脱するか否かを前記近似モデルを用いて算出することで、ある異常状態がどのような異常状態から発生し得るかという異常状態間の因果関係を導出する因果関係導出部と、前記異常状態判定部において該プラントが異常状態であると判定されたときの観測値と前記因果関係導出部において導出された前記観測値間の因果関係とを用いて、該異常状態が推移する伝播経路を推定する伝播経路推定部とを具備することを特徴とする。

【0014】この場合、前記異常状態判定部において、現在の観測値と観測値に対数平均処理を施した対数平均値との差に基づき、観測値が許容範囲から逸脱したか否かを判定しても良い。

【0015】また、前記モデル生成部では、前記プラント動特性を表した基本式が、プラント配管中を流れる流体の運動量保存則及びプラント配管の分岐点における流体の質量保存則に基づく式としても良いし、前記プラント動特性を近似する近似モデルとして

【数3】

【0019】本発明は、前記異常状態判定部においてプラントが異常状態であると判定された場合に、前記伝播経路推定部において推定された伝播経路の最上流に位置する異常状態に対応したプラントの操作要領の情報を前記状態表示部に提供する操作要領記憶部であって、かつ伝播経路の最上流に位置する異常状態が複数存在する場合には記憶された操作要領の優先順に従って最も優先度の高い操作要領の情報を前記状態表示部に提供する操作要領記憶部をさらに具備しても良い。

【0020】また本発明は、前記異常状態判定部においてプラントが異常状態であると判定された場合に測定された観測値と前記モデル生成部において生成された近似モデルとを用いて、判定された異常状態からの推移を予測すると共に、予測された異常状態の推移を前記状態表示部に提供する事象推移予測部を具備しても良い。

【0021】さらに本発明は前記事象推移予測部で予測された異常状態の推移を測定された観測値と比較することによって、プラントに設置された検出器が異常であるか否かを判定すると共に、検出器が異常と判定された場合に異常と判定された検出器の情報を前記状態表示部に提供するセンサー診断部をさらに具備しても良い。

【0022】加えて本発明は、プラントを制御する制御系統の制御条件を表した数式モデルに基づいて制御の対象となる観測値の制御目標値を算出し、この目標値と測

定された観測値を比較することによって制御系が異常であるか否かを判定すると共に、制御系が異常であると判定した場合に異常と判定した制御系の情報を前記状態表示部に提供する制御系診断部をさらに具備しても良い。

【0023】本発明は、前記事象推移予測部において予測された異常状態の推移に基づき、観測値がインターロックの作動する限界値に到達するインターロック作動予定時間及び作動が予定されたインターロックの情報を登録し、インターロック作動予定時間を過ぎても作動が予定されたインターロックが作動しないときにインターロックが異常であると判定すると共に、異常と判定したインターロックの情報を前記状態表示部に提供するインターロック診断部をさらに具備しても良い。

【0024】また本発明は、前記異常状態判定部において異常状態でないと判定されているときに前記モデル生成部において生成された近似モデルを用いて、異常状態の発生原因それぞれに対応した観測値の変化方向を算出して発生原因ごとの観測値の変化パターンを登録する変化方向導出部と、異常状態判定部において異常状態であると判定されたときに測定された観測値の変化パターンを前記登録された観測値の変化パターンと比較することによって、異常状態の発生原因を推定し、推定した異常状態の発生原因の情報を前記状態表示部に提供する異常原因同定部と、をさらに具備しても良い。

【0025】

【発明の実施の形態】〔第1実施形態〕本発明の第1の実施形態について図面を参照して説明する。図1の機能構成図に第1の実施形態を示す。プラント1は例えば原子力プラント等の大規模なプラントであり、プラント1にプラント状態監視システム2が接続される。

【0026】プラント状態監視システム2は全てをハードウェアで構成することもできるが、通例はコンピュータ及びコンピュータプログラムにより構成される。

【0027】プラント状態監視システム2は、入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、及び状態表示部8から構成され、各構成要素の概略は以下の通りである。

【0028】入力処理部3にはプラント1からの図示しない複数箇所に配設された検出器により測定された複数の観測値Mtが入力され、観測値Mtに基づきプラントが定常状態にあるか否かの判定を周期的に行う。

【0029】ここで、検出器は例えばプラント中の流体

$$\left| \frac{d}{dt} M_t \right| < M_d$$

ここで、Mdは観測値Mtに対する変化判定用閾値であり、それぞれの観測値Mt毎にノイズや測定誤差等を考慮して設定される。

【0038】式(1)は観測値Mtの時間勾配を変化判定用閾値Mdより小さいか否かを判定する判定条件である。個々の観測値Mtについて式(1)が満たされたと

の圧力を測定する圧力センサー、流体の流量を測定する流量センサー、プラント内の温度を測定する温度センサーであり、原子力プラントでは中性子線量センサーも該当し得る。観測値Mtはこれら検出器による測定の対象となる圧力、流量、温度等の情報をいい、Mtはそれぞれの測定対象、測定箇所等を識別する添え字である。

【0030】異常状態判定部4は観測値Mtが許容範囲から逸脱したか否かによって、プラントが異常状態にあるか否かの判定を行うものである。具体的にはそれぞれの観測値Mtに対する計画値とその許容値が記憶されており、その記憶された情報に基づいて観測値Mtが計画値から逸脱しているか否かの判定を周期的に行う。

【0031】モデル生成部5はプラントの動特性を表した基本式を備えており、入力処理部3においてプラントが定常状態にあると判定されたときに、基本式に基づき観測値Mtを振動点とする近似モデルを生成する。

【0032】因果関係導出部6はモデル生成部において生成された近似モデルを用いて、プラントの特定の異常状態がどの異常状態から発生し得るかという異常状態相互間の因果関係を導出する。

【0033】伝播経路推定部7では異常状態判定部4においてプラントが異常状態であると判定された場合に、因果関係導出部6において求められた異常状態相互間の因果関係を用いて、異常状態の伝播経路を推定する。

【0034】状態表示部8は伝播経路推定部7において推定された伝播経路等を例えばCRT等の表示手段によって表示する。

【0035】図2は上記構成による処理の流れを示す処理フロー図である。図2に示す処理フローは第1ステップS1から第6ステップS6まで、それぞれ入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8における処理内容に対応する。以下、それぞれのステップにおける処理内容の詳細を説明する。

【0036】(第1ステップ) 第1ステップS1は入力処理部3における処理内容を示しており、プラントの観測値Mtを周期的に取り込み、プラントが定常状態にあるか否かの判定を周期的に行う。この判定には次の

(1) 式で示す条件がそれぞれの観測値Mtに対して満たされたときにプラントが定常状態にあると判定する。

【0037】

【数5】

$$\dots(1)$$

きは、その観測値Mtが時間的に変化していないと言える。そして、それぞれの観測値Mtが時間的に変化していないときにはプラントが定常状態であると判定できる。逆に、観測値Mtの何れかが式(1)を満足しないときには、プラントは何らかの過渡的な状態にあることになる。

【0039】このプラントが定常状態にあるか否かの判定結果は、後の第3ステップにおいて用いられる。即ち、プラントが定常状態にあると判定されたときに、第3ステップにおいて近似モデルの生成が行われる。

【0040】(第2ステップ) 第2ステップS2は、異常状態判定部4における処理であり、観測値Mtが許容

$$|Mt - Mp| > Me$$

ここで、Mpは観測値Mtに対する計画値、即ちプラントの運転を行う上で予定された値である。Meは計画値Mpに対する許容範囲を定める許容値である。計画値Mpと許容値Meは何れも異常状態判定部4に記憶される。

【0042】式(2)は観測値Mtが計画値を逸脱しているか否かの判定条件であり、それぞれの観測値Mtに対して周期的に行われる。ある観測値Mtが式(2)を満足したときにその観測値Mtは計画値を逸脱していることになる。そして、何れかの観測値Mtが計画値から逸脱したときにプラントが異常状態であると判定される。

【0043】許容値Meは警報の発報に対応する値に設定することができる。一方、プラントの警報が発報する以前の軽微な異常を発見する場合には、許容値Meはよ

$$X = (M1, M2, \dots, Mn)$$

ここで、式(3)においてそれぞれの観測値Mtが計画値から逸脱していない場合、計画値に対して大きい方に逸脱している場合、計画値に対して小さい方向に逸脱し

$$X = (m1, m2, \dots, mn)$$

ここで、mtはそれぞれの観測値Mtの状態を表す整数(以下「観測状態変数」という)であり、

観測値Mtが計画値から逸脱していない場合：0

観測値Mtが計画値から大きい方向に逸脱している場合：+1

観測値Mtが計画値から小さい方向に逸脱している場合：-1

の値をとるものとする。また、式(4)のXをプラント状態表示と呼ぶこととする。

【0048】このようにして式(4)で表されるプラント状態表示Xによってプラントの状態を判りやすく表現できる。2つの異常状態が一致するか否かはそれぞれの異常状態を表すプラント状態表示X1、X2においてそれぞれの観測状態変数mtがすべて一致することという。

【0049】例えば、観測値が5個だとして

$$X1 = (+1, 0, 0, 0, 0) \text{ と } X2 = (+1, 0, 0, 0, 0)$$

は一致する(以下、「 $X1 = X2$ 」と表現する)。

【0050】しかし、

$$X1 = (+1, 0, 0, 0, 0) \text{ と } X3 = (0, 0, +1, 0, 0)$$

は不一致であり(以下、「 $X1 \neq X3$ 」と表現する)、

範囲から逸脱したか否かによって、プラントが異常状態であるか否かの判定を行う。具体的に次の式(2)で示す条件が何れかの観測値Mtにおいて成立したときにプラントが異常状態であると判定する。

【0041】

$$\dots (2)$$

り小さな値に設定することとなる。即ち、許容値Meはその目的に合致するように適宜決定される。場合によっては、許容値Meに複数の値を設定して、軽微な異常から重大な異常に至るまでのいくつかの段階を区分することも可能である。

【0044】式(2)によってプラントが異常状態であると判定されたときには、計画値から逸脱した観測値Mtが計画値に対して大きい方に逸脱したか、小さい方に逸脱したかが判断される。これはプラントの異常状態相互を識別するためである。

【0045】以下にプラントの異常状態相互を識別する方法について説明する。プラントの状態は観測値がn個あるとすると次の式(3)で示す観測値Mtの組み合わせXで表すことができる。

【0046】

$$\dots (3)$$

ている場合の3つに分けてそれぞれをmtで表すことにすると次の式(4)が成立する。

【0047】

$$\dots (4)$$

$$X1 = (+1, 0, 0, 0, 0) \text{ と } X4 = (-1, 0, 0, 0, 0)$$

も一致しない($X1 \neq X4$)。

【0051】以上のようにしてプラントプラントの異常状態は式(4)のように表現し得る。

【0052】プラントが異常状態であるときは、プラントが定常状態から逸脱した過渡的な状態にある場合が多い。即ち、プラントが異常状態になったときには、プラントは一つの状態に落ち着かず、異なった異常状態へと推移してゆく場合が多い。これらの異常状態がどのように推移する関係にあるかは、第4ステップにおいて異常状態の伝播経路として推定される。

【0053】尚、異常状態であっても必ずしも過渡的な状態であるとは限らず、定常状態である可能性もある。定常状態か否かは既に述べたように式(1)で判定される。

【0054】(第3ステップ) 第3ステップS3はモデル生成部5における処理であり、入力処理部3にてプラントが定常状態にあると判定した場合に、動特性を表す基本式を用いて、観測値Mtを振動点としてプラント動特性の近似モデルを生成する。

【0055】以下にプラントとして、流体が流れる複数の配管iが複数の分岐点jで結合され、各配管iに必要な

に応じてポンプ等の昇圧手段が設けられている場合を例にとり説明する。ここで、 i は配管を j は分岐点を識別するための番号である。

【0056】この場合のプラントの一例を図3の概略図に示す。図3では配管1～配管7、分岐点1～分岐点4、及び終端点aがあつて、配管2、5、6にのみ昇圧手段が設けられている。分岐点1では配管1、2、3、7が、分岐点2では配管1、2、5が、分岐点3では配管3、4、6が、分岐点4では配管4、5、6が結合されている。終端点aには配管7のみが結合されている。ここで、配管1～7を流れる流体の質量流量（配管を単位時間あたりに流れる流体の質量）をそれぞれ $W_1 \sim W_7$ 、分岐点1～4及び終端点aにおける圧力をそれぞれ

$$I_{n_i} \cdot \left(\frac{d}{dt} W_i \right) = \Delta P_i + Ph_i - C_{f_i} \cdot (W_i)^2 \quad \dots(5)$$

ここで、

I_{n_i} : 配管 i の流体慣性係数であり、配管の形状、寸法に依存する係数

W_i : 配管 i における質量流量

ΔP_i : 配管 i の上流側分岐点と下流側分岐点間の圧力差

Ph_i : 配管 i における昇圧ヘッド（ポンプ等の昇圧手段によって生じた配管 i の圧力上昇成分）

C_{f_i} : 流体が配管 i を通過して上流側分岐点から下流側分岐点に移動したときの圧力損失を表す圧力損失係数
 t : 時間

である。尚、分岐点 j から配管 i に流体が流れ込むときを分岐点 j が配管 i の上流側にあると定義し、配管 i から分岐点 j に流体が流れ出すときを分岐点 j が配管 i の下流側にあると定義する。圧力損失係数 C_{f_i} はそれぞれ

$$\sum_{l=1}^{L_j} W_{lj} = 0$$

ここで上式の時間微分をとって

$$\sum_{l=1}^{L_j} \frac{d}{dt} W_{lj} = 0 \quad \dots(6)$$

ここで、分岐点 j には配管1から配管 L_j まで L_j 本の配管がつながっているとし、質量流量 W_{1j} は、分岐点へ入ってくる方向を正、分岐点から出て行く方向を負として扱うものとする。

【0062】尚、流体の圧縮が無視できる場合とは、例えば液体ナトリウム、水のような圧縮性の低い液体を流体として用いる場合が該当する。また、蒸気のような圧縮性の流体であっても配管の分岐点の容量が小さい場合には、分岐点における流体の圧縮が事実上無視できて式(6)の適用が可能である。

【0063】式(5)、(6)はプラントの動的特性を

$P_1 \sim P_4$ 及び P_a 、配管2、5、6における昇圧ヘッド（昇圧手段による圧力上昇分）をそれぞれ Ph_2 、 Ph_5 、 Ph_6 として表している。なお、図3は概念的理解のための単純な例であり実際のプラントでは配管、分岐点の数は遙かに多くなっている。

【0057】このようなプラントでは、観測値 M_t として質量流量 W_i 、圧力 P_j をとることができる。昇圧ヘッド Ph_i は観測値 M_t であるとともに、運転員により操作可能な制御パラメータでもある。

【0058】配管 i を流れる流体の運動量保存則は、例えば以下の式(5)によって表される。

【0059】

【数6】

体が直接測定対象となる訳ではないので、純粋な意味では観測値とは言えないが、観測値に準じて取り扱うこととする。圧力損失係数 C_{f_i} は配管のバルブの開閉によって変動しうる変数であり、バルブの開閉状態の検知により間接的に把握しうる量である。運動量保存則を表す式(5)は流体力学におけるナビエ・ストークスの式に基づき、配管を流れる際の流体の粘性による圧力損失を考慮した式である。

【0060】また、流体の圧縮を無視できる場合には配管の分岐点 j に流入、流出した流体の質量の総和に変化がない。即ち、配管の分岐点 j での質量流量の総和が0であることから、分岐点 j における質量保存則は次の式(6)によって表される。

【0061】

【数7】

表す基本式であり、質量流量 W_i 、圧力 P_j 、圧力ヘッド Ph_j を変数とする連立微分方程式である。しかし、式(5)は変数である質量流量 W_i に2次の項をもった非線形方程式であり、取り扱い及び解を求めるのは容易でない。そこで、式(5)を線形化して取り扱いを容易にすることを考える。線形化されていない変数は質量流量 W_i であるので、定常状態の質量流量 W_i を摂動点として用いて摂動点からの変動を新たな変数として式(5)の線形化を行う。

【0064】入力処理部3において何れの観測値 M_t も変化していないと判定されたときはプラント全体が定常

状態にある。この定常状態における配管 i の質量流量 W_i をそれぞれ W_{ti} とする。このときの定常的な質量流量 W_{ti} を摂動点として、摂動点からの変動を考えることで、次の (7) 式の近似式を得る。

【0065】即ち、(5) 式において W_i を $W_{ti} + \delta$

$$I_{ni} \cdot \frac{d}{dt} (W_{ti} + \delta W_i) = \Delta P_i + P_{hi} - C_{fi} \cdot (W_{ti} + \delta W_i)^2$$

$$\text{ここで } W_{ti} \text{ は一定であるから } \frac{d}{dt} W_{ti} = 0$$

$$\text{よって } I_{ni} \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_i \right) = \Delta P_i + P_{hi} - C_{fi} \cdot (W_{ti}^2 + 2 \cdot W_{ti} \cdot \delta W_i + \delta W_i^2)$$

ここで δW_i^2 を微量として 0 とおいて、

$$I_{ni} \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_i \right) = \Delta P_i + P_{hi} - 2 \cdot C_{fi} \cdot W_{ti} \cdot \delta W_i - C_{fi} \cdot (W_{ti})^2 \quad \dots (7)$$

ここで、 δW_i は質量流量の摂動点 W_{ti} からの変動成分
 $\delta W_i = W_i - W_{ti}$

で表される。以下、 δW_i を流量変動と呼ぶことにする。

【0067】式 (5) から定常状態の流量 W_{ti} を摂動点として式 (7) で表される線形化された近似式を得る手段は、結局のところ定常的な観測値 (摂動点) からの変動成分について 2 次以上の項を無視することを意味する。この近似手段は式 (5) について、定常的な観測値からの変動成分 (ここでは流量変動 δW_i) を変数とした 1 次近似を行うものと言い換えても良い。この 1 次近似の結果の式 (7) は摂動点からの変動成分が極端に大

W_i と置き換えて展開し、 δW_i の 2 乗項を微量として無視する。

【0066】

【数 8】

分であり、具体的には式 (8)

... (8)

きくなければ元の式 (5) を良く近似すると言える。

【0068】式 (6) は線形の式であるので線形化する必要はない。しかし、これと対になる近似式 (7) に形式上変数を一致させる必要があるため式の変形を行う。このため、式 (6) においても式 (5) と同様に W_i を $W_{ti} + \delta W_i$ と置き換えて展開する。その結果を式 (9) に示す。

【0069】

【数 9】

$$\sum_{l=1}^{L_j} \frac{d}{dt} (W_{tl} + \delta W_{tl}) = 0$$

$$\text{ここで } \frac{d}{dt} (W_{tl}) = 0 \text{ であるから}$$

$$\sum_{l=1}^{L_j} \frac{d}{dt} \delta W_{tl} = 0 \quad \dots (9)$$

この式 (9) は元の式 (6) が質量流量 W_i について 2 次以上の項が存在しない関係で、元の式 (6) と実質的に全く同一の式である。即ち、式 (9) は式 (6) を近似した結果導出されたものではない。

【0070】しかしながら式 (7) と式 (9) をひとまとめにして、それぞれ運動量保存則と質量保存則に基づく近似式であると言うこととする。

$$\frac{d}{dt} [A_{n \times n}] \cdot \delta W_{n \times 1}$$

$$= B_{n \times n} \cdot \delta W_{n \times 1} + C_{n \times m} \cdot P_{m \times 1} + D_{n \times n} \cdot P_{h \times 1} + H_{n \times 1} \quad \dots (10)$$

ここで、

$A_{n \times n}$: 配管 i の流体慣性係数 I_{ni} を i 番目の対角要素とする n 行 n 列の対角行列

【0071】配管の本数を n 、分岐点の個数を m とすると運動量保存則に基づく近似式 (7) は配管の本数 n だけ導出され、これを行列によって表現すると以下の式 (10) のようになる。

【0072】

【数 10】

$B_{n \times n}$: 次の式を i 番目の対角要素とする n 行 n 列の対角行列

配管 i が終端点に結合していないとき : $-2/C_f$

$i \cdot Wt_i$

配管 i が圧力 P_a の終端点に結合しているとき : $P_a - 2/Cf_i \cdot Wt_i$

$C_{n \times m}$: 次の数を i 行 j 列の要素とする n 行 m 列の行列

分岐点 j が配管 i の上流側分岐点のとき : $+1$

分岐点 j が配管 i の下流側分岐点のとき : -1

分岐点 j が配管 i の分岐点でないとき : 0

(分岐点 j が配管 i に直接結合してはいないとき)

$D_{n \times n}$: 次の数を i 番目の対角要素とする n 行 n 列の対角行列

配管 i に昇圧手段が設置されているとき : 1

配管 i に昇圧手段が設置されていないとき : 0

$P_{m \times 1}$: 分岐点 j における圧力 P_j を j 番目の成分とする m 行の列ベクトル

$Ph_{n \times 1}$: 昇圧ヘッド Ph_i を i 番目の成分とする n 行の列ベクトル

$H_{n \times 1}$: $-Cf_i \cdot (Wt_i)^2$ を i 番目の成分とする n 行の列ベクトル

$\delta W_{n \times 1}$: 配管 i の流量変動 δW_i を i 番目の成分とする n 行の列ベクトルである。

【0073】具体例として図3のプラントを用いて説明する。図3の場合には式(7)において配管 i 両端の圧力差 ΔP_i は、 $\Delta P_1 = P_2 - P_1$ 、 $\Delta P_2 = P_1 - P_2$ 、 $\Delta P_3 = P_1 - P_3$ 、 $\Delta P_4 = P_4 - P_3$ 、 $\Delta P_5 = P_2 - P_4$ 、 $\Delta P_6 = P_3 - P_4$ 、 $\Delta P_7 = P_a - P_1$ であり、かつ昇圧ヘッド Ph_i が配管 2, 5, 6 のみにあるため以下の式(11)によって表される。

【0074】

【数11】

$$\begin{aligned} In_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_1 \right) &= P_2 - P_1 - 2 \cdot Cf_1 \cdot Wt_1 \cdot \delta W_1 - Cf_1 \cdot (Wt_1)^2 \\ In_2 \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_2 \right) &= P_1 - P_2 + Ph_2 - 2 \cdot Cf_2 \cdot Wt_2 \cdot \delta W_2 - Cf_2 \cdot (Wt_2)^2 \\ In_3 \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_3 \right) &= P_1 - P_3 - 2 \cdot Cf_3 \cdot Wt_3 \cdot \delta W_3 - Cf_3 \cdot (Wt_3)^2 \\ In_4 \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_4 \right) &= P_4 - P_3 - 2 \cdot Cf_4 \cdot Wt_4 \cdot \delta W_4 - Cf_4 \cdot (Wt_4)^2 \\ In_5 \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_5 \right) &= P_2 - P_4 + Ph_5 - 2 \cdot Cf_5 \cdot Wt_5 \cdot \delta W_5 - Cf_5 \cdot (Wt_5)^2 \\ In_6 \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_6 \right) &= P_3 - P_4 + Ph_6 - 2 \cdot Cf_6 \cdot Wt_6 \cdot \delta W_6 - Cf_6 \cdot (Wt_6)^2 \\ In_7 \cdot \left(\frac{d}{dt} \delta W_7 \right) &= P_a - P_1 - 2 \cdot Cf_7 \cdot Wt_7 \cdot \delta W_7 - Cf_7 \cdot (Wt_7)^2 \quad \dots (11) \end{aligned}$$

これを行列で表現すれば次の式(12)のように表され、これは式(10)と対応している。

【0075】

【数12】

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} I_{n1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_{n2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_{n3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{n4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{n5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{n6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{n7} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta W_1 \\ \delta W_2 \\ \delta W_3 \\ \delta W_4 \\ \delta W_5 \\ \delta W_6 \\ \delta W_7 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -2 \cdot Cf_1 \cdot Wt_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 \cdot Cf_2 \cdot Wt_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \cdot Cf_3 \cdot Wt_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_4 \cdot Wt_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_5 \cdot Wt_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_6 \cdot Wt_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_7 \cdot Wt_7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta W_1 \\ \delta W_2 \\ \delta W_3 \\ \delta W_4 \\ \delta W_5 \\ \delta W_6 \\ \delta W_7 \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Ph_1 \\ Ph_2 \\ Ph_3 \\ Ph_4 \\ Ph_5 \\ Ph_6 \\ Ph_7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -Cf_1 \cdot (Wt_1)^2 \\ -Cf_2 \cdot (Wt_2)^2 \\ -Cf_3 \cdot (Wt_3)^2 \\ -Cf_4 \cdot (Wt_4)^2 \\ -Cf_5 \cdot (Wt_5)^2 \\ -Cf_6 \cdot (Wt_6)^2 \\ -Cf_7 \cdot (Wt_7)^2 \end{pmatrix} \dots (12)$$

質量保存則に基づく式(9)は分岐点の個数mだけ導出され、行列を用いると次の式(13)によって表現できる。

【0076】

【数13】

$$\frac{d}{dt} [E_{m \times n}] \cdot \delta W_{n \times 1} = 0 \quad \dots (13)$$

ここで、

$E_{n \times n}$: 次をi行j列の要素とするm行n列の行列

分岐点jが配管iの上流側分岐点のとき : +1

分岐点jが配管iの下流側分岐点のとき : -1

分岐点jが配管iの分岐点でないとき : 0

(分岐点jが配管iに直接結合していないとき)

である。

【0077】具体例として図3に示すプラントをとる

と、分岐点1~4において、式(9)は以下の式(14)のように表される。

【0078】

【数14】

$$\begin{aligned} \text{分岐点1: } & \frac{d}{dt} \delta W_1 - \frac{d}{dt} \delta W_2 - \frac{d}{dt} \delta W_3 + \frac{d}{dt} \delta W_7 = 0 \\ \text{分岐点2: } & -\frac{d}{dt} \delta W_1 + \frac{d}{dt} \delta W_2 - \frac{d}{dt} \delta W_5 = 0 \\ \text{分岐点3: } & \frac{d}{dt} \delta W_3 + \frac{d}{dt} \delta W_4 - \frac{d}{dt} \delta W_6 = 0 \\ \text{分岐点4: } & -\frac{d}{dt} \delta W_4 + \frac{d}{dt} \delta W_5 + \frac{d}{dt} \delta W_6 = 0 \end{aligned} \quad \dots (14)$$

これを行列で表示すると以下の式(15)のようになり、式(13)と対応している。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta W_1 \\ \delta W_2 \\ \delta W_3 \\ \delta W_4 \\ \delta W_5 \\ \delta W_6 \\ \delta W_7 \end{bmatrix} = 0 \quad \dots(15)$$

このようにして、プラントの定常状態における観測値 M である質量流量 W_{t_i} ($i=1, \dots, n$)を摂動点としたプラントの動特性の近似モデルを導出することができる。

【0080】以上から判るように動特性の近似モデルは、運動量保存則及び質量保存則に基づく式(5)及び式(6)を基本式としたものであり、式(7)及び式(9)によって、行列を用いて表現すれば式(10)及び式(13)によって表すことができる。

【0081】そして、式(7)、(9)及び式(10)、(13)の具体的内容はそれぞれのプラントにおける配管の接続状態を考慮して定まる。具体的には図3の例において、式(7)、(9)は式(11)、(14)として、式(10)、(13)は式(12)、(15)として表現される。

【0082】これらの近似モデルは既に述べたように定常的な観測値からの変動成分を変数とした1次近似である。その結果、式(7)、(9)及び式(10)、(13)は流量変動 δW_i 、圧力 P_j 、及び昇圧ヘッド P_{h_j} を変数として、これら変数の線形結合の形で表されている。このように近似モデルは運動量保存則及び質量保存則に基づく式を1次式の形に線形化したものであり、変数が1次の項のみで表されるから式の取り扱いや計算

$$M1 * M2 = (M10 + \delta M1) * (M20 + \delta M2) \quad \dots(16)$$

において、展開し $\delta M1 * \delta M2$ の項を無視することで

$$M1 * M2 = M10 * M20 + M20 * \delta M1 + M10 * \delta M2 \quad \dots(17)$$

と変形できる。このように変数 $M1$ 、 $M2$ を変数とした非線形な項である $M1 * M2$ (式(17)の左辺)を摂動 $M10$ 及び $M20$ からのそれぞれの変位 $\delta M1$ 、 $\delta M2$ を変数とした線形結合 (式(17)の右辺)に変形することができる。

【0086】(第4ステップ) 第4ステップS4は因果関係導出部6における処理であり、プラントの特定の異常状態がどの異常状態から発生し得るかという異常状態相互間の因果関係を導出する。この因果関係導出に際して、モデル生成部5において生成された近似モデルを用いる。導出された因果関係はデータベースとして登録される。尚、異常状態は観測値の値と対応するから、「異

【0079】
【数15】

処理が容易である。

【0083】今まで主として理解のしやすさのため運動量保存則及び質量保存則を単純化した式(5)、(6)によって取り扱い、質量流量 W_{t_i} ($i=1, \dots, n$)のみを摂動点として用いることで線形化された近似式(7)、(9)を導出している。

【0084】しかし、運動量保存則及び質量保存則に種々の観測可能な物理量を加味することで、式(5)、式(6)を更に精密な式に置き換えることができる。例えば、温度の変動に基づく流体の粘性や圧力の変動を式(5)、(6)に取り入れたり、流体の圧縮性を式(6)において考慮することができる。このようにして近似モデルの基礎となる式を精密なものに置き換えて最終的に導出される近似式の精度を向上することができる。

【0085】このときには摂動点に用いる観測値を増やす必要があり、元の基礎式で線形化されていない変数の全てを摂動点として用いることで、基礎式の線形化を図ることができる。例えば、基礎式の中で観測値 $M1$ 、 $M2$ の積 $M1 * M2$ で表される項があれば、定常状態における観測値 $M1$ 及び $M2$ の値 $M10$ 、 $M20$ を摂動点として

常状態相互の因果関係は「観測値相互間の因果関係」と言い換えても良い。

【0087】ここで、プラント状態の識別について具体的に説明する。既に述べたように、観測値の変動には計画値に対して正(値が大きい方向)又は負(値が小さい方向)の双方があり、プラントの状態としてもこの正負がそれぞれ変動した状態はそれぞれ別個の状態として扱う。プラントの状態を X とすると、プラント状態 X は式(4)で表現でき、また識別できる。具体例として、配管 j の流量 W_j が正方向に変化した状態をプラント状態Aとして、配管 k の昇圧ヘッド P_{h_k} の負方向に変化した状態をプラント状態Bとする。このプラント状態A、

Bは変動が生じた観測値Mも及び変化の方向の何れも互いに相違しており全く別の状態であると言える。

【0088】既に述べたようにプラントが異常状態にあるときはプラントが過渡的な状態にある場合が多いため、一つの異常状態から他の異常状態へと推移してゆく可能性がある。いい換えれば一つの異常状態の発生は他の異常状態の発生原因となり、異常状態相互は互いに因果関係で結びつけられている。

【0089】プラント状態の過渡的な推移を簡単に整理するために、プラント状態間の因果関係を用いる。以下に因果関係について具体的に説明する。プラント状態Aがプラント状態B、C又はDのいずれからも発生し得るものだとすると、これはプラント状態Aとプラント状態Aの前にとりうるプラント状態B、C、Dの間が因果関係で結ばれていることになる。

【0090】プラント状態を結んだ因果関係はデータベースとして登録できる。図4は発生するプラント状態毎に因果関係を整理して、フレーム形式で表した因果関係データベースの1例である。プラント状態Aを発生するプラント状態として、プラント状態B、C及びDがあることが記載されている。このようにしてプラント状態間の因果関係の全てを因果関係データベースとして整理できる。

【0091】モデル生成部5において導出した近似モデルから異常状態間の因果関係を求めるのは、式(10)、(13)を連立して時間的推移を計算することで行える。時間的推移の計算は、例えばオイラー法やルンゲ・クッタ法による数値計算をコンピュータによって行うことで容易に実行可能である。そして、ある観測値が変化した場合に他の観測値にどのような影響を与えるかが時間的推移の計算によって判る。即ち、観測値間の因果関係が求められる。

【0092】観測値間の因果関係導出の流れを具体的に示したのが図5、図6である。図5と図6はそれぞれAとBによって結ばれており、全体で一つのフローチャートを表す。ここでは配管が全部でn本あってi番目の配管において流量変動が δW_i 、昇圧ヘッドが P_{h_i} であるとする。ここで、昇圧ヘッド P_{h_i} の起因である昇圧手段は配管の全てに備えられているとは限らず、図3のように配管7本中3本にのみ存在する場合がある。

【0093】図5、6に示されるようにj番目の配管の昇圧ヘッド P_{h_j} が計画値から正方向に逸脱した場合にi番目の配管の流量変動 δW_i が正負何れに変動するか、或いは変動が起きないか(事実上変動量が無視し得る程度に小さいか)を全ての配管iに対して求める。そして、流量変動 δW_i が正又は負に変化した状態が、昇圧ヘッド P_{h_j} が正又は負に変化した状態から発生するか否かを登録する。このようにして、昇圧ヘッド P_{h_j} の変化が流量変動 δW_i に与える影響が求められ、因果関係データベースの作成が可能となる。なお、図5、6

には示していないが、配管jに昇圧手段が存在しない場合には、昇圧手段が存在する配管になるまでjを増加させ、改めて昇圧ヘッド P_{h_j} への逸脱した値を設定するのは言うまでもない。

【0094】図5、6では許容範囲に対する逸脱した値の設定は昇圧ヘッド P_{h_j} についてのみ行い、その結果が流量変動 δW_i に与える影響を求めている。しかし、これは理解の容易のために話を単純化したためであって、実際には圧力 P_i 、流量変動 δW_i も含めた観測値に基づく変数についてそれぞれを変化させて、その変化が他の観測値に対して正負何れの変化を引き起こすかを求めて、因果関係データベースを作成する。ここで、圧力損失係数 C_{f_i} は観測値に準じ、他の観測値に及ぼす影響を求める対象となる。これは圧力損失係数 C_{f_i} が配管の弁の開閉等により変化しうる量だからである。例えば、配管の弁の開閉機構が故障して、圧力損失係数 C_{f_i} が低下し、それが異常状態の発生原因となることもあり得る。

【0095】結局、観測値以外にも異常状態を発生させる原因となりえる変数は許容範囲に対する逸脱した値の設定の対象となり得る。そして、ある変数の値が変化したときに他の変数にどのような影響を与えるかが変数間の因果関係として求められる。

【0096】以上のようにして因果関係導出部6においては近似モデルの式(10)、(13)を用い、それぞれの観測値を変化させて他の観測値に及ぼす変化、即ち異常状態間の因果関係を求め、これから因果関係データベースを作成する。なお、上記のように「観測値間の因果関係」とは純粋な意味での観測値以外をも含む広義な意味に解釈する必要がある。

【0097】(第5ステップ)第5ステップS5は、伝播経路推定部7における処理であり、異常状態判定部においてプラントが異常状態にあると判定されたときに、因果関係導出部によって作成された因果関係データベースに記述された異常状態間の因果関係を用いて、判定された異常状態の伝播経路を推定する。

【0098】まず図4に例示した因果関係データベースを利用して、異常状態と判定されたときの異常状態がデータベースに登録された異常状態のどれに該当するかが判定される。この判定に例えば式(4)にあらわされたプラント状態表示を比較することで行える。

【0099】その次に、因果関係データベースに基づき異常状態と判定されたときの異常状態に至るまでに取りうる異常状態の伝播経路を推定する。異常状態の伝播経路は、異常状態間をネットワーク構造で結んだプロパゲーション・シーケンスとして表される。

【0100】一例として、図7の異常状態の関連図に異常状態間の因果関係の全体を示し、伝播経路の推定方法を具体的に説明する。図7はプラント状態A～Iの因果関係を示したもので、因果関係データベースにそれぞれ

フレーム形式で記述された次の個別情報をまとめたものである。

【0101】

- ・ Aの発生条件には、B, C, Dがある。
- ・ Bの発生条件には、Hがある。
- ・ Cの発生条件には、Gがある。
- ・ Dの発生条件には、Eがある。
- ・ Eの発生条件には、F, Gがある。
- ・ Fの発生条件には、Dがある。
- ・ Gの発生条件には、Iがある。
- ・ Hの発生条件には、Iがある。
- ・ Iの発生条件には、Fがある。

【0102】ここで、異常状態判定部4にて、観測値のいくつかの値が許容範囲を逸脱したと判定されたとする。許容範囲からの逸脱の結果、異常状態A, C, D～Gが実際に生じたとすると、これら発生した異常状態について以下の処理を行う。まず、図8の処理過程における異常状態の関連図に示すように、異常状態の全てについて「プロパゲーション・シーケンスの最下流にある」ことを示すフラグ（縞）（以下、図面による説明の便宜上から、最下流を縞フラグ、最上流を白フラグとして区別する）を立てておく。

【0103】次に、異常状態毎に自分自身を発生させる条件を全て調査して、成立しているものがあれば、その条件が成立しているかを示すパスを保存し、そのパスの上流の異常状態において最下流フラグ（縞）を倒す。なお、自分自身を発生させる条件が成立していない場合には、最下流フラグ（縞）を倒して、「プロパゲーション・シーケンスの最上流にある」ことを示すフラグ（白）を立てる。

【0104】この処理を全ての異常状態に対して施すことにより、図9の異常状態の関連図に示すように、最下流と最上流の異常状態を同定することができる。次いで図10の異常状態の経路図に示すような、プロパゲーション・シーケンス上のパスを認識することができる。

【0105】生成されたパスを用いて、異常状態の経路を探索することにより、プロパゲーション・シーケンスの生成を行う。プロパゲーション・シーケンスの1例を図11に示す。異常状態がCOND(1)からCOND(4)まで4つに区分され、区分された異常状態間がパスで結びつけられている。同一の区分にある状態は状態間での発生、移行の関係において互いに対等な関係にある。このときを同一の競合状態グループに属するという。例えば、状態D, E, Fは同一の競合状態グループとしてCOND(3)に属している。

【0106】プロパゲーション・シーケンスの生成手順を、図12の処理フロー図に示す。「M←1」12で競合状態グループを識別する変数Mに1が代入されると、「異常状態(PV(i))の上流となる異常状態の調査ルーチンのスタート」13から、「PV(i)を調査リス

ト(LIST)に記入」14と、「N←PV(i)の上流となる異常状態の数」15を経由して「N=0?」16に行く。この「N=0?」16において、Yesでは「リターン」17へ、またNoでは「L←1」18へ進み、次いで「PV(i)のL番目の上流となるPV(j)はLISTにあるか?」19に行く。尚、「←」はその左辺の式にその右辺の式又は値を代入することをいい、「?」はその左辺の条件が成立しているか否かを判断する判断条件である。

【0107】この19においてYesならば、「LIST中のPV(j)からPV(i)までの異常状態を競合状態グループとする。PV(j)が先に定義した競合状態グループに属する場合は、その競合状態グループにある異常状態を含めるものとする。」20を経由し、さらに「L←L+1」21から「L≤N?」22に至り、この22でYesならば再び上記19へ戻り、Noならば「リターン」17へ進む。即ち、19は競合状態グループの判定条件であり、判りやすく言えばある異常状態（ここではXとする）の上流を遡っていった結果、再び同一の異常状態Xに戻ってきたときに、その間に通った異常状態が競合グループに属すると判定する。そして、状態Xの上流に向かっての調査が終了した時点で状態Xが属する競合グループが確定する。

【0108】また上記19においてNoの場合は、「PV(j)は既に調査完了状態として登録されているか?」23に進み、Yesで「PV(j)の登録された調査完了状態のIDをPV(i)の上流として記録する」24を経由して「L←L+1」21へ進む。

【0109】なお、上記23でNoであれば、「PV(j)の上流となる異常状態の調査ルーチンのスタート」25を経由して、「PV(j)は、PV(i)と同一の競合状態グループにあるか?」26に進み、ここでYesならば、上記「L←L+1」21に進む。なお、25の意味については後で詳しく説明する。

【0110】上記26でNoの場合には、「PV(j)が競合状態グループに属するか?」27に進み、この27においてYesならば、「PV(j)が属する競合状態グループの全てのPVを、IDをMとした調査完了状態COND(M)に登録する」28を経由して、「調査完了状態COND(M)に登録した異常状態をLISTより削除する」29に進む。

【0111】さらに、上記29からは「COND(M)に属する異常状態の上流として記録された全ての調査完了状態のIDをCOND(M)の上流として登録する」30と、「PV(i)の上流となる調査完了状態のIDとしてMを記録する」31、さらに「M←M+1」32を経由して上記「L←L+1」21に進む。なお、上記27でNoの時には、「PV(j)を、IDをMとした調査完了状態COND(M)に登録する」33を経由して上記29に進む。

【0112】次に、「PV(j)の上流となる異常状態の調査ルーチンのスタート」25の意味について詳しく説明する。25はいわゆる再帰的手続きを表すもので、図12の処理フロー自身を更に呼び出し、呼び出された処理フローの13に処理が移行される。図12の処理フローは直接的には調査ポイントiとそのすぐ上流のポイントjのみに関する処理フローを表している。そして、jからさらにその上流に遡った調査を行う際には、新たに呼び出された処理フローの13に戻り13におけるiをjに置き換えて、調査ポイントjとそのすぐ上流についての調査が進められる。判り易くいえば図12の処理フローが各調査ポイントi毎に存在し、その上流のポイントjに調査ポイントを移す際には、図12の処理フローが新たに生成されると考えればよい。そして、ポイントjでの調査が終わればその「リターン」17から元のポイントiを調査ポイントとする処理フローに処理が戻ってくることになる。

【0113】もしポイントjからさらにその上流のポイントkに調査ポイントを移行する必要がある場合、ポイントkを調査ポイントとする処理フローが生成され、ポイントjを調査ポイントとする処理フローの25からポイントkを調査ポイントとする処理フローの13に処理が移行される。

【0114】以上のように、図12はそれぞれの調査ポイントの上流下流に対応した多層的な処理フローを表している。このような再帰的処理は例えばCの様な再帰的処理が可能なプログラム言語を利用することで容易に実現できる。即ち、このときは図12の処理フローに対応する形でプログラムを作成することが可能である。そして、図12の処理フローを表すプログラムが更に自分自身をサブルーチンとして呼び出す処理がなされることになる。

【0115】なお、以上から判るように図12は再帰的処理を利用することによって、上流下流の階層関係に渡る調査を判りやすく表現したものである。プロパゲーション・シーケンスの生成手順に必ずしも再帰的処理を用いなければならないというわけではない。従って、例えばFORTRANのような再帰的処理を行にくいプログラム言語を利用して、実質的に図12と同一の処理フローを実現することが可能である。

【0116】次に上記図10を例として、図12に示すプロパゲーション・シーケンスの生成手順を具体的に示す。図13は処理手順図であり、図10の場合に形成される調査リストと競合状態グループ、及び調査完了状態等の経過を表している。

【0117】図10では、最下流の異常状態はAであることが認識されている。この調査ポイントをAとして、このAから経路探索を始める。まず、Aを調査リストに記入してAの上流であるCを見る。Cは調査リストにも記入されてなく、また、調査完了状態としても登録され

ていないために、次に調査ポイントをCに移し、そこで、Cを調査リストに記入してCの上流であるGを見る。

【0118】このGは調査リストにも記入されてなく、また、調査完了状態としても登録されていないために、次に調査ポイントをGに移し、そこで、Gを調査リストに記入するが、Gの上流はないので調査ポイントをCに戻す。この際に、CとGは競合状態グループになく、またG自体も競合状態グループに属さないことから、GだけをIDを1とした調査完了状態(COND(1))に登録する。

【0119】次に、Gを調査リストより削除して、Cの上流となる調査完了状態のID:1を記録する。また、Cの上流にはG以外にはないために、調査ポイントをAに戻す。この際に、AとCは競合状態グループになく、またC自体も競合状態グループに属さないことから、CだけをIDを2とした調査完了状態(COND(2))に登録する。

【0120】次に、Cを調査リストより削除して、COND(2)の上流となる調査完了状態ID:1を登録し、Aの上流となる調査完了状態のID:2を記録する。次いで、Aの上流であるDを見る。Dは調査リストにも記入されてなく、また、調査完了状態としても登録されていないために、次に調査ポイントをDに移す。そこで、Dを調査リストに記入してDの上流であるEを見る。Eは調査リストにも記入されてなく、また、調査完了状態としても登録されていないために、次に調査ポイントをEに移す。

【0121】次にEを調査リストに記入して、このEの上流であるFを見る。Fは調査リストにも記入されてなく、また、調査完了状態としても登録されていないために、次に調査ポイントをFに移す。そこで、Fを調査リストに記入してFの上流であるDを見る。Dは既に調査リストにも記入されており、調査リスト中のDからFまでを競合状態グループとして調査ポイントをEに移す。

【0122】ここで、EとFは同一の競合状態グループにあるために、調査完了状態の生成はせずにEの上流であるGを見る。Gは調査リストにはないが、ID:1の調査完了状態として登録されているために、Eの上流となる調査完了状態としてID:1を登録して、調査ポイントをDに移す。

【0123】ここで、DとEは同一の競合状態グループにあるために、調査完了状態の生成はせずに調査ポイントをAに移す。AとDは同一の競合状態グループにはないために、競合状態グループ(D, E, F)をID:3の調査完了状態(COND(3))として登録して、D, E, Fを調査リストから削除する。

【0124】また、Eの上流である調査完了状態(COND(1))を、COND(3)の上流調査完了状態として登録する。さらに、探索開始ポイントであるAに戻

った段階で、AだけをID: 4の調査完了状態(COND (4))として登録し、Aの上流として記録したID: 2、及びID: 3の調査完了状態を、COND (4)の上流調査完了状態として登録する。

【0125】上記の一連の処理により、各異常状態の競合関係及び位置づけを明確にされ、図12の伝播経路図に示すプロパゲーション・シーケンスが認識される。このプロパゲーション・シーケンスは、事象の推移を表すものであり、上記の処理により異常状態の伝播経路が推定される。

【0126】なお、図10の例では、最下流の異常状態が認識されているが、この最下流の異常状態が競合し合って、最下流の異常状態が認識されない場合がある。その場合には、任意の異常状態から調査を開始して、すべての異常状態を検索完了するまで繰り返すことにより、プロパゲーション・パスを生成することができる。

【0127】(第6ステップ)第6ステップS6は、状態表示部8における状態表示処理で、状態表示部8では上記伝播経路推定部7で推定された異常状態の伝播経路を状態表示部8に備えた例えばCRT等の表示手段を用いて運転員に提供する。

【0128】具体的には図11の様な形でプロパゲーション・シーケンスが表示されることになる。これによって、運転員はプラントに発生した異常状態A、C~GのうちGが最上流の異常状態でAが最下流の異常状態であること、言い換えれば最初に発生し得る異常状態がGで最後に発生し得る異常状態がAであることが容易に認識できる。異常状態とは何れかの観測値が許容範囲を逸脱しているものであるから、許容範囲外となったその観測値を測定した検出器の設置個所と対応する関係にある。即ち、最初に発生した異常状態に対応した検出器の設置個所に何らかの故障が発生していることが考えられる。このようにして運転員はプロパゲーション・シーケンスを

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} A1_{m \times m} & 0 \\ 0 & A2_{(n-m) \times (n-m)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \delta W1_{m \times 1} \\ \delta W2_{(n-m) \times 1} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} B1_{m \times m} & 0 \\ 0 & B2_{(n-m) \times (n-m)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \delta W1_{m \times 1} \\ \delta W2_{(n-m) \times 1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C1_{m \times m} \\ C2_{(n-m) \times m} \end{pmatrix} \cdot P_{m \times 1} \\ &+ \begin{pmatrix} D1_{m \times m} & 0 \\ 0 & D2_{(n-m) \times (n-m)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Ph1_{m \times 1} \\ Ph2_{(n-m) \times 1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} H1_{m \times 1} \\ H2_{(n-m) \times 1} \end{pmatrix} \dots (18) \end{aligned}$$

ここで、 $A1_{m \times m}$ 、 $A2_{(n-m) \times (n-m)}$: $A_{n \times n}$ の部分行列であるそれぞれm行m列、(n-m)行(n-m)列の行列

$B1_{m \times m}$ 、 $B2_{(n-m) \times (n-m)}$: $B_{n \times n}$ の部分行列であるそれぞれm行m列、(n-m)行(n-m)列の行列

$C1_{m \times m}$ 、 $C2_{(n-m) \times m}$: $C_{n \times m}$ の部分行列であるそれぞれm行m列、(n-m)行m列の行列

$D1_{m \times m}$ 、 $D2_{(n-m) \times (n-m)}$: $D_{n \times n}$ の

利用して、故障個所を推察することが容易となる。

【0129】以上のように、本第1実施形態によれば、プラント1が定常状態であるときに、プラント1の異常状態相互間の因果関係を求めて因果関係データベースを作成して、観測値が許容範囲から逸脱したときに因果関係データベースを用いて異常状態の伝播経路を自動的に推定することが可能であり、プラント1の異常状態を適切に運転員に提示することができる。

【0130】〔第2実施形態〕本発明の第2実施形態の構成は第1の実施形態と同様に図1で示される。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、及び状態表示部8から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。

【0131】第2の実施形態が第1の実施形態と相違する点はモデル生成部5と因果関係導出部6における動作内容にある。第1の実施形態では近似モデルの式(10)、(13)が微分方程式の形式であったのに対して、第2の実施形態においては伝達関数を用いて近似モデルを表し、この近似モデルを用いて因果関係の導出を行う。

【0132】ここで式(10)、(13)の行列 $A_{n \times n}$ 、 $B_{n \times n}$ 、 $C_{n \times m}$ 、 $D_{n \times n}$ 、 $E_{m \times n}$ 、をそれぞれm行m列の部分正方行列とそれ以外の行列に、列ベクトル $\delta W_{n \times 1}$ 、 $Ph_{n \times 1}$ 、 $H_{n \times 1}$ をそれぞれm行の部分列ベクトルとそれ以外の部分列ベクトルに分解する。 $A_{n \times n}$ 、 $B_{n \times n}$ 、 $D_{n \times n}$ は既に示したように対角行列であり対角成分以外の成分は0である。すると、以下のように式(10)、(13)をそれぞれ式(18)、(19)のように表すことができる。

【0133】

【数16】

部分行列であるそれぞれm行m列、(n-m)行(n-m)列の行列

$Ph1_{m \times 1}$ 、 $Ph2_{(n-m) \times 1}$: $P_{n \times 1}$ の部分列ベクトルであるそれぞれm行、(n-m)行の列ベクトル

$H1_{m \times 1}$ 、 $H2_{(n-m) \times 1}$: $H_{n \times 1}$ の部分列ベクトルであるそれぞれm行、(n-m)行の列ベクトル
 $\delta W1_{m \times 1}$ 、 $\delta W2_{(n-m) \times 1}$: $\delta W_{n \times 1}$ の部分列ベクトルであるそれぞれm行、(n-m)行の列ベ

クトル
0: 零行列
である。

【0134】
【数17】

$$\frac{d}{dt} [E1_{m \times m} E2_{m \times (n-m)}] \cdot \begin{pmatrix} \delta W1_{m \times 1} \\ \delta W2_{(n-m) \times 1} \end{pmatrix} = 0 \quad \dots (19)$$

ここで、
 $E1_{m \times m}$, $E2_{m \times (n-m)}$: $E_{n \times n}$ の部分行列
であるそれぞれ m 行 m 列、 m 行 $(n-m)$ 列の行列であ
る。

【0135】式(18)、(19)は展開すると次のよ
うな式(20)、(21)によって表せる。

【0136】
【数18】

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} (A1 \cdot \delta W1) = B1 \cdot \delta W1 + C1 \cdot P + D1 \cdot Ph1 + H1 \\ \frac{d}{dt} (A2 \cdot \delta W2) = B2 \cdot \delta W2 + C2 \cdot P + D2 \cdot Ph2 + H2 \end{cases} \quad \dots (20)$$

【数19】

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} (E1 \cdot \delta W1) = 0 \\ \frac{d}{dt} (E2 \cdot \delta W2) = 0 \end{cases} \quad \dots (21)$$

ここで、 $A1$ 、 $A2$ 、 $B1$ 、 $B2$ 、 $C1$ 、 $C2$ 、 $D1$ 、
 $D2$ 、 $E1$ 、 $E2$ 、 P 、 Ph 、 H は式(18)、(1
9)で既に使用した行列あるいはベクトルであり、添え
字の表示を省略している。

【0137】式(20)、(21)をラプラス変換する
ことで、次の式(22)、(23)、(24)、(2
5)に変形できる。

【0138】

$$s \cdot A1 \cdot \delta W1 = B1 \cdot \delta W1 + C1 \cdot P + D1 \cdot Ph1 + H1 \quad \dots (22)$$

$$s \cdot A2 \cdot \delta W2 = B2 \cdot \delta W2 + C2 \cdot P + D2 \cdot Ph2 + H2 \quad \dots (23)$$

$$s \cdot E1 \cdot \delta W1 = 0 \quad \dots (24)$$

$$s \cdot E2 \cdot \delta W2 = 0 \quad \dots (25)$$

ここで、
 s : ラプラス変換の複素数
である。

【0140】式(22)、(23)から行列 P を消去
し、式(24)、(25)を用いることで次の式(2
6)が得られる。

【0139】次に Ph に対する δW の伝達関数を求める
方法を示す。

【0141】

$$s \cdot \delta W = \Gamma \cdot \delta W + \Lambda \cdot Ph + Z \quad \dots (26)$$

ここで、

【数20】

$$\begin{aligned}
\Gamma &= \begin{pmatrix} L1_{(n-m) \times m} & A2_{(n-m) \times (n-m)} \\ E2_{m \times m} & E2_{m \times (n-m)} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} G1_{(n-m) \times m} & B2_{(n-m) \times (n-m)} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\
\Lambda &= \begin{pmatrix} L1_{(n-m) \times m} & A2_{(n-m) \times (n-m)} \\ E2_{m \times m} & E2_{m \times (n-m)} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S1_{(n-m) \times m} & D2_{(n-m) \times (n-m)} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\
Z &= \begin{pmatrix} L1_{(n-m) \times m} & A2_{(n-m) \times (n-m)} \\ E2_{m \times m} & E2_{m \times (n-m)} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} U1_{(n-m) \times 1} \\ 0 \end{pmatrix} \\
\delta W &= \begin{pmatrix} \delta W1_{m \times 1} \\ \delta W2_{(n-m) \times 1} \end{pmatrix} \\
Ph &= \begin{pmatrix} Ph1_{m \times 1} \\ Ph2_{(n-m) \times 1} \end{pmatrix} \\
L1 &= -C2 \cdot C1^{-1} \cdot A1, G1 = -C2 \cdot C1^{-1} \cdot B1, S1 = C2 \cdot C1^{-1} \cdot D1, U1 = H2 - C2 \cdot C1^{-1} \cdot H1 \\
&\dots (27)
\end{aligned}$$

である。式 (26) から次の式 (28) が導出できる。

$$\delta W = (s \cdot I - \Gamma)^{-1} \cdot (\Lambda \cdot Ph + Z) \quad \dots (28)$$

ここで、

I : 単位行列

である。

$$(s \cdot I - \Gamma)^{-1} \cdot \Lambda \quad \dots (29)$$

であることが判る。

【0144】ここで、 $(s \cdot I - \Gamma)^{-1} \cdot \Lambda$ の i 行 j

列の要素を $g_{ij}(s)$ として、 $(s \cdot I - \Gamma)^{-1} \cdot$

$$(s \cdot I - \Gamma)^{-1} \Lambda = \begin{pmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) & g_{13}(s) & \dots & g_{1m}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) & g_{23}(s) & \dots & g_{2m}(s) \\ g_{31}(s) & g_{32}(s) & g_{33}(s) & \dots & g_{3m}(s) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1}(s) & g_{n2}(s) & g_{n3}(s) & \dots & g_{nm}(s) \end{pmatrix} \quad \dots (30)$$

で表す。 Ph_j に対する δW_i の伝達関数は $g_{ij}(s)$ あり、従って Ph_j の変動に対する δW_i のゲインは $g_{ij}(0)$ であることが判る。

【0145】以上は、式 (27) から判るように、 $C1_{m \times m}$ は正則、即ち逆行列をもつことが条件である。 $C1$ を正則とする手法を次に示す。

$$C1_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots (31)$$

このときには行列 $C1$ の行列式の値は 0 であり、従って行列 $C1$ は正則ではない。 $C1$ を正則にする一つの方法は行列の行および列の順番を入れ替えることである。例えば行および列の順番を入れ替えて $C1$ が 0 の対角要素をもたない三角行列とすることで、 $C1$ を正則にすることができる。このことは三角行列の行列式の値は対角要素の積となることから言える。

【0142】

【0143】式 (23) から Ph に対する δW の伝達関数は

Λ を次の式 (30) のように

【数21】

【0146】図3のプラントを例にこれを示す。このプラントは既に示したように、式 (10)、(13) は具体的には式 (12)、(15) によって表される。このとき、行列 $C1$ は式 (31) のようになる。

【0147】

【数22】

【0148】これは以下の操作によって行える。

【0149】まず行の順序を変更する。

【0150】(1) 境界となっている部分につながっている配管の運動量保存則の式 (7) を行列の 1 行目とする。図3のプラントでは配管7がこれにあたる。

【0151】(2) 次の行に (1) で選択した配管の分岐点と他の分岐点につながる配管の運動量保存則の式を

配置する。図3のプラントでは配管7の分岐点1につながった配管1、2、3何れかの運動方程式を選択できる。

【0152】(3) 全ての分岐点を選択されるまで(2)を繰り返す。

【0153】図3のプラントにおいて場合分けをして示すと次のようになる。

【0154】 Φ 操作(2)で配管1を選択した場合配管1の分岐点1又は2に接続される配管3又は5を選択できる(配管2は配管1の分岐点1に接続されているが、選択済みの分岐点のみに接続されているので、選択できない)。これを更に場合分けすると次のようになる。

【0155】a. Φ で配管3を選択した場合配管3の分岐点3に接続された配管4又は6を選択できる。

【0156】b. Φ で配管5を選択した場合結果的にはaと同様に配管4又は6を選択できる。

【0157】 Φ 操作(2)で配管2を選択した場合結果的には(1)と同様に配管3又は5を選択でき、その次に配管4又は6を選択できる。

【0158】 Φ (2)で配管3を選択した場合分岐点1に繋がった配管1又は2、分岐点3に繋がった配管4又は6の何れかを選択できる。これを更に場合分けすると次のようになる。

【0159】a. Φ で配管1を選択した場合：分岐点2に繋がった配管5を選択できる。

b. Φ で配管2を選択した場合：分岐点2に繋がった配管5を選択できる。

c. Φ で配管4を選択した場合：分岐点4に繋がった配管5を選択できる。

d. Φ で配管6を選択した場合：分岐点4に繋がった配管5を選択できる。

【0160】(4) 残りの配管についての運動量保存則の式を操作(3)までにできあがった行列の下に配置する。

【0161】(5) 操作(4)を行った行列の列の順番を選択した分岐点の順に並べ直す。例えば、配管を7-3-1-5の順に選択した場合には分岐点1-3-2-4の順に選択したことになり列2と3の順番を入れ替えることになる。なお、操作(5)の列の順序変更は操作(1)から(4)の行の順序変更と同時に進んでも差し支えない。

【0162】図3のプラントについて以上の操作を行った結果、選択される配管の組み合わせを示すと以下の通りである。

【0163】

・ 7-1-3-4

・ 7-1-3-6

・ 7-1-5-4

・ 7-1-5-6

・ 7-2-3-4

…… (途中は省略) ……

・ 7-3-4-5

・ 7-3-6-5

ここで、例えば7-2-3-4とは配管7、2、3、4を順に選択することを表す。

【0164】7-2-3-4の順に配管を選択した場合の運動量保存の行列式(10)は以下の式(32)で表される。

【0165】

【数23】

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} In_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & In_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & In_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & In_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & In_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & In_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & In_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_7 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \\ W_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -2 \cdot Cf_7 \cdot Wt_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 \cdot Cf_2 \cdot Wt_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \cdot Cf_3 \cdot Wt_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_4 \cdot Wt_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_5 \cdot Wt_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_6 \cdot Wt_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cdot Cf_1 \cdot Wt_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_7 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \\ W_1 \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Ph_7 \\ Ph_2 \\ Ph_3 \\ Ph_4 \\ Ph_5 \\ Ph_6 \\ Ph_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Pa - Cf_7 \cdot (Wt_7)^2 \\ -Cf_2 \cdot (Wt_2)^2 \\ -Cf_3 \cdot (Wt_3)^2 \\ -Cf_4 \cdot (Wt_4)^2 \\ -Cf_5 \cdot (Wt_5)^2 \\ -Cf_6 \cdot (Wt_6)^2 \\ -Cf_1 \cdot (Wt_1)^2 \end{pmatrix} \dots (32)$$

なお、この例では分岐点の選択は1-2-3-4の順序で行われているため、行列の列の順序には変更がない。

【0166】すると行列C1は次の式(33)のように対角要素が0でない三角行列となり、行列C1が正則と

$$C1_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

…(33)

図3のプラントにおいて、7-2-3-4以外の場合も同様に行列C1が正則であることが判る。

【0168】以上のようにしてPh_jに変動があったときのδW_iの変化が式(30)の伝達関数で表せる(モデル化できる)ことが判った。このように第2の実施形態においてモデル生成部5でのモデル化が行われる。PhとδW以外の関係のモデル化も同様に行える。

【0169】因果関係導出部6での処理は第1の実施形態で近似モデルが式(10)、(13)の微分方程式であったのが、式(30)の伝達関数で表される以外は特

なる。

【0167】

【数24】

段変わることはない。因果関係の導出のフローは第1の実施形態の場合の図6と同様である。図6の「式(10)、式(13)を連立し、δW_i (i=1, 2, …, n)の時間的挙動をシミュレーションし最大の変化幅を求める」を「式(24)のg_{i,j}(0) (i=1, 2, …, n)を掛けてδW_iを求める」と変えるだけで他の部分に実体的な変更はない。

【0170】以上のように第2の実施形態においてはモデルが伝達関数で表され、時系列演算を要しないことから因果関係の導出が速やかに行われる。

【0171】状態表示部8は伝播経路推定部7で推定されたプロパゲーション・シークエンスを出力すると共に、運転員の要求に応じてプラント状態相互間の伝達特性を示す指標として伝達関数と伝達関数から算出された時定数を表示手段を用いて運転員に提供する。

【0172】時定数の算出は以下のようにして行う。

【0173】(1) 伝達関数の極s1を求める。極とは伝達関数がA(s)/B(s)の形の関数で表したときの伝達関数の特性を表す

特性方程式: B(s) = 0

の根s1をいう。即ち、伝達関数の分母を0とする値である。

【0174】(2) 時定数を求める。即ち、極s1の実数部が伝達特性の指数関数的増大、減少を表す時定数となる。なお、極s1の虚数部は伝達特性の周期と対応する。

【0175】以上のように伝達関数、時定数が表示されると運転員は観測値間の伝達特性を確認できるとともに、制御可能な観測値を運転員の操作により変化させたときに他の観測値に与える影響を事前に評価することができる。

【0176】〔第3実施形態〕本発明の第3実施形態の構成は第1及び第2の実施形態と同様に図1で示される。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、及び状態表示部8から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。

【0177】第3の実施形態が第1及び第2の実施形態と相違する点は異常状態判定部4における動作内容にあ

る。ここでは、異常状態判定部4において観測値Mtが許容範囲から逸脱しているか否かの判断を行うのに際し、プラント1からの観測信号毎に対数平均処理を施し、その対数平均値と現在の値との差に基づき異常状態か否かを判定する処理を行う。

【0178】次にこの処理内容の詳細を説明する。プラント1における通常運転時における緩やかな状態の変化は、殆どのものが一次遅れ特性を有している。例えば、原子力プラントにおける原子炉の炉心内から制御棒を引き抜く時の原子炉出口温度の変化、あるいは、冷却材流量変更時の中間熱交換器や蒸発器、及び過熱器等の出口温度の変化等、一つの操作に対応した観測値の変化は、いずれも一次遅れ特性で近似することができる。尚、一次遅れ特性とは伝達関数では $1/(1+T0 \cdot s)$ で表され、時定数T0の指数関数で表される応答の遅れを有する応答特性をいう。

【0179】通常の運転時では、一つの運転操作が完了して状態が落ち着いてから次の運転操作を行うのが通例である。このため、運転操作を行っていない通常運転においてはその直前に行った操作のみを考慮すれば足りる。従って、直前に行った操作に対して一次遅れ特性を有するプロセスでの観測値は、一次遅れ特性を反映して過去から現在に至るまで指数関数的に変化することになる。

【0180】このような通常運転時における異常状態の変化を検知するには、次の式(34)を用いるのが便宜である。

【0181】

【数25】

$$D = P(t) - \frac{1}{A} \cdot \sum_{i=1}^N \{e^{-i \times \tau / T1} \cdot P(t-i \times \tau)\}$$

$$A = \sum_{i=1}^N e^{-i \times \tau / T1} \quad \dots (34)$$

ここで、

P: 観測値

T1: 時定数

t: 時間

τ : サンプリング周期

i: 正の整数

である。

【0182】式(34)は観測値の現在の値と対数平均値との差Dを求めるものである。対数平均値をとることは、現在の値を過去の値に比べて重みをつけて観測値の平均を求めることを意味する。そして、時定数T1は現在からどこまで過去の時点までを重視した重み付けをするかを定める値である。即ち、現時点から時定数T1までの過去の観測値が、主として平均値に反映され、それ以前の観測値は無視される傾向にある。その結果、現在

の値と対数平均値との差Dは現時点から時定数T1まで遡った過去の範囲での観測値に対して、現在の観測値が変化しているか否かを示す指標として利用できる。時定数T1はプロセスの応答特性を考慮して選択し、例えば一次遅れの時定数T0に対して小さな値を選択することにより、一次遅れによる観測値の変動の影響を低減できる。なお、サンプリング周期 τ は時定数T1に対して小さな値を、整数Nは $\tau \cdot N$ が時定数T1に対して大きな値になるようにすると計算される対数平均の値にバラツキが出にくくなる。

【0183】式(34)を用いてプロセスが異常状態であるか否かを判定するには、予め観測値ごとに許容値を定めておき、現在の値と対数平均値との差Dの絶対値がその許容値より大きいときにプラントが異常状態にあると判定する。これは広い意味では観測値Mtが許容範囲

から逸脱しているか否かの判断を行うということであり、その意味では第1の実施形態のステップ2で示した異常状態の判定法と共通している。

【0184】異常状態であると判定されたときは、現在の値と対数平均値との差Dの正負を判定する。これは第1実施形態のステップ2で述べたと同様に、プラントの異常状態相互を識別するためである。結局、差Dが予め定められた正の値より大きい場合には+（プラス）方向

$$X = (m_1, m_2, \dots, m_n) \quad \dots (35)$$

ここで、 m_t はそれぞれの観測値 M_t の状態を表す整数（観測状態変数）であり、

観測値 M_t が許容範囲から逸脱していない場合：0

観測値 M_t が許容範囲から+方向に逸脱している場合：
+1

観測値 M_t が許容範囲から-方向に逸脱している場合：
-1

の値をとるものとする。

【0186】異常状態であると判定されたときは、因果関係導出部6で導出された異常状態の因果関係を用いて伝播経路推定部7において異常状態の伝播経路が推定される。そして、状態表示部8によって異常状態の伝播経路が表示される。因果関係の導出に際してはモデル生成部5で生成された近似モデルが用いられる。

【0187】本第3実施形態では異常状態の判定以外については、第1の実施形態と変わることがないので、詳細な説明を省略する。

【0188】このように、本第3実施形態は、異常状態の判定について第1の実施形態より優れた点がある。即ち、本第3実施形態では計画値を設定することなく異常状態を判定できる。また、プロセスが一次遅れ特性を有する場合の様に、観測値が変化している場合においても異常状態の判定が容易に行える。

【0189】そして、本第3実施形態によれば第1実施形態と同様に以下が行える。即ち、プラント1が定常状態であるときに、プラント1の異常状態相互間の因果関係を求めて因果関係データベースを作成し、観測値が許容範囲から逸脱したときに因果関係データベースを用いて異常状態の伝播経路を自動的に推定することが可能であり、プラント1の異常状態を適切に運転員に提示することができる。

【0190】〔第4実施形態〕本発明の第4の実施形態を図14に示す。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8、及び補修要領記憶部9から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。補修要領記憶部9には異常状態に対応して発せられる警報毎に纏められた補修要領が予め記憶され、観測値が許容範囲を逸脱した際に適切な補修要領を選択して、状態表示部8に伝達する。

【0191】状態表示部8は観測値が許容範囲を逸脱し

に、また、差Dが予め定められた負の値より小さい場合には-（マイナス）方向に変化していると判断される。プラントの異常状態の表示には第1実施形態での式（4）と同様の式を用いることができる。即ち、次の式（35）で表されるプラント状態表示Xを用いて異常状態が表示できる。

【0185】

た際に、伝播経路推定部7で推定されたプロパゲーション・シーケンスと共に、適切な補修要領を表示する。

【0192】補修要領の選択は異常状態に対して発せられる警報に対応して行う。即ち、プロパゲーション・シーケンスの最上流に位置する異常状態に対して発する警報に対応して補修要領を補修要領記憶部9から選択される。

【0193】補修要領の1例として、給水流量が許容範囲に対して低下した場合を図15に示す。

【0194】このように第4の実施形態によれば異常時に対処すべき補修要領を異常状態に応じて運転員に提供することが可能となる。

【0195】補修要領記憶部9に補修要領とともにその優先順位を記憶しておき、優先順位の最も高い補修要領を選択して表示することも可能である。

【0196】これはプロパゲーション・シーケンスの最上流に該当する異常状態が複数存在するときに有効であり、このときに最も重要な補修要領を優先的に選択することができ、運転員の判断を補完することができる。

【0197】補修要領の選択以外については第1の実施形態と特に変わることはないので、説明を省略する。

【0198】〔第5実施形態〕第5の実施形態を図16に示す。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8、及び操作要領記憶部10から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。操作要領記憶部10には発生した異常状態に対して発せられる警報毎に纏められた操作要領とその優先順位が予め記憶されている。観測値が許容範囲から逸脱した際に、適切な操作要領が選択され状態表示部に伝達される。

【0199】状態表示部8はプラントが異常状態になった際に、伝播経路推定部7で推定されたプロパゲーション・シーケンスと共に、適切な操作要領を表示する。

【0200】操作要領の選択は許容範囲からの観測値の逸脱に対して発せられる警報に対応して行う。即ち、プロパゲーション・シーケンスの最上流に位置する異常状態に対して発する警報に対応して、最も優先度の高い補修要領が操作要領記憶部10から選択される。

【0201】操作要領の1例として、給水流量が許容範囲に対して低下した場合を図17に示す。

【0202】このように第5の実施形態によれば異常時に対処すべき操作要領をプラント状態に応じて運転員に提供することが可能となる。そして、プロバゲーション・シーケンスの最上流に該当する観測値が複数存在するときであっても、最も重要な操作要領を優先的に選択することができ、運転員の判断を補助することができる。

【0203】なお、操作要領の選択以外については第1の実施形態と特に変わることはないので、説明を省略する。

【0204】〔第6実施形態〕本発明の第6の実施形態を図18に示す。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8、及び事象推移予測部11から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。

【0205】事象推移予測部11では異常状態判定部4においてプラントが異常状態になったと判定されたときに、モデル生成部5にて生成された近似モデルを用いて異常状態の今後の推移を予測する。状態表示部8はその予測結果を表示する。

【0206】事象推移予測部11での事象推移の予測は以下のように行われる。異常状態判定部4において異常状態が発生したと判定される以前に、モデル生成部5において生成された近似モデルを用いて異常状態発生後のプラントの挙動を予測する。そして、その後に推移する異常状態を予測する。

【0207】例えば昇圧ヘッドの一つ Ph_j の値が $y\%$ 上昇して許容範囲から逸脱し異常状態判定部4で異常状態が発生したと判定された場合を考える。このとき、事象推移予測部11は以下を行う。

【0208】(1) 異常発生直前の近似モデルの式(10)、(13)の Ph_j の値として $y\%$ 増大した値を挿入する。

【0209】(2) (1)の近似モデルの式(10)、(13)を連立して各観測値の時間的変化を計算する。この結果は状態表示部8により表示される。

【0210】(3) (2)の結果、変化した観測値が許容範囲から逸脱するか否かを点検する。許容範囲から逸脱した観測値があればどの観測値が許容範囲から逸脱したかによって新たに発生が予測される異常状態が定まる。

【0211】(4) 発生が予測された異常状態が状態表示部8により表示される。

【0212】理解の容易のため、昇圧ヘッド Ph_j の値が異常と判定されたときに流量変動 δW_i の時間的変化を予測する場合を例とするフローを図19に示す。この図で「昇圧ヘッド Ph_j の計画値に対する偏差を求め」41、「昇圧ヘッド Ph_j が許容範囲から逸脱しているかを判定する」42は異常状態判定部4によって行われる。そして、「流量変動 δW_i の時間的挙動の予測

シミュレーション」43と「予測した流量変動 δW_i の時間的挙動のディスプレイへの表示」44はそれぞれ事象推移予測部11と状態表示部8によって行われる。図19では理解の容易のため話を単純化しており、異常の判定対象と予測シミュレーションの対象をそれぞれ Ph_j と δW_i に限っている。しかし、実際には広く観測値に対して異常判定及び予測シミュレーションが行われることになる。

【0213】以上のように第6の実施形態によれば、異常状態が発生した後の異常状態の推移を予測することが可能となる。即ち、異常発生後に許容範囲を逸脱する観測値をその変化方向も含めて自動的に予測することが可能である。その結果、異常発生後の異常状態の推移予測情報を運転員に提供でき、運転員の判断を補助することができる。

【0214】なお、異常状態の推移予測以外については、第1の実施形態と特に変わることはないので、説明を省略する。

【0215】〔第7実施形態〕本発明の第7の実施形態を図20に示す。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8、及び事象推移予測部11、センサー診断部12から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。

【0216】事象推移予測部11では第6の実施形態と同様に異常状態判定部4において観測値が許容範囲から逸脱したと判定されたときに、モデル生成部5にて生成された近似モデルを用いて今後許容範囲を逸脱すると予測される観測値を推定する。事象推移予測部11での事象推移の予測は第6の実施形態と同様であるのでここでは記載を省略する。

【0217】センサー診断部12は、異常状態判定部4において観測値が許容範囲を逸脱したと判定されたときに、事象推移予測部11による予測結果と観測値とを比較してセンサーの健全性を診断する。センサー診断部12における動作を詳しく述べると以下になる。

【0218】(1) センサーに認められる許容誤差を定めてセンサー診断部12に記憶させておく。

【0219】(2) 異常状態判定部4で観測値が許容範囲を逸脱したと判定されたときに、事象推移予測部11において予測された観測値の推移と実際にセンサーによって測定された観測値を比較する。即ち、それぞれの観測値について予測値と実測値の差を定期的に計算する。

【0220】(3) 特定の観測値について予測値と実測値の差の絶対値が許容誤差より大きい場合に、その観測値を測定するセンサーが異常であると判定する。

【0221】(4) (3)においてセンサーが異常であると判定されたときは、異常と判定されたセンサーの情報を状態表示部8へ伝達する。状態表示部8はこの情報に基づきどのセンサが異常であるのかの情報を運転員に

提供する。これは通例、事象推移予測部11における観測値の推移予測と共に状態表示部8によって表示される。

【0222】以上のように第7の実施形態によればセンサの異常の判定を自動的に行うことが可能であり、センサの故障等の異常が発生した場合に異常を生じたセンサの情報を速やかに運転員に提供することが可能となる。運転員はプラントの状況判断に際し、異常を生じたセンサの実測値を除外することが容易に行え、運転員の的確な判断に寄与する。

【0223】なお、センサーの診断以外については、第1の実施形態と特に変わることはないので、説明を省略する。

【0224】〔第8実施形態〕本発明の第8の実施形態を図21に示す。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8、及び事象推移予測部11、制御系診断部13から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。

【0225】制御系診断部13は、異常状態判定部4において観測値が許容範囲を逸脱したと判定されたときに、制御系の数式モデルと観測値を用いて制御系の健全性を診断する。

【0226】制御系の診断ステップを以下に述べる。

【0227】(1) 制御系の健全性の診断に際しては診断制御系の数式モデルを予めプラント状態監視システム2に記憶させておく。

【0228】制御系の数式モデルはプラント1を制御する制御系統が観測値に対応してプラント1を制御する制御条件を数式で表したものである。プラント1の制御は

$$Ph_i' = Kp \cdot (Ws_i - W_i) + \int Kc \cdot (Ws_i - W_i) dt \quad \dots (36)$$

ここで、

W_i : 質量流量

Ws_i : 質量流量の計画値

Kp 、 Kc : 比例定数

\int : 積分記号

である。

【0238】図22の「 Ph_i が計画値を逸脱しているか」51、「制御系の数式モデルと観測値を用いて昇圧ヘッドの制御量 Ph_i' を計算する」52、「 Ph_i と Ph_i' の偏差が許容値を越えているか」53、「 Ph_i を操作量とする制御系は故障していると診断する」54が上記ステップ(2)から(5)に該当する。この例では判りやすさのために(2)の異常状態判定対象のうち制御対象である Ph_i のみを判定の対象として示している。

【0239】以上のように第8の実施形態によれば制御系の健全性の判定を自動的に行うことが可能であり、制御系に故障等の異常が発生した場合に異常を生じた制御

例えば圧力ヘッド Ph_j 等の直接的に制御可能な観測値を制御することによって行われる。即ち、制御系の数式モデルは制御すべき観測値の値とこの値に影響を与える観測値の関係を数式で表したものとなる。

【0229】この数式モデルの記憶箇所は例えばモデル生成部5である。

【0230】(2) 異常状態判定部4で観測値が許容範囲を逸脱したか否かが判定される。

【0231】その後の制御系診断部13における動作は次のようになる。

【0232】(3) 観測値が許容範囲を逸脱したときは、制御系の数式モデルに観測値を代入して制御すべき観測値の値(制御値)を求める。

【0233】(4) 求められた制御値と実際にセンサーによって測定された観測値を比較する。即ち、制御すべき観測値について制御値と実測値の差を定期的に計算する。

【0234】(5) 特定の観測値について制御値と実測値の差の絶対値が許容誤差より大きい場合に、その観測値を制御する制御系が異常であると判定する。

【0235】(6) (5)において制御系が異常であると判定されたときは、異常と判定された制御系の情報を状態表示部8へ伝達する。状態表示部8はこの情報に基づきどの制御系が異常であるのかを運転員に提供する。

【0236】以上の(2)から(5)のステップを、制御量として昇圧ヘッド Ph_i を用いた場合を例にフローとして表したものが図22である。ここでは昇圧ヘッドの制御値 Ph_i' が以下の式(36)の数式モデルで表されると仮定している。

【0237】

系の情報を速やかに運転員に提供することが可能となる。

【0240】なお、制御系の診断以外については、第1の実施形態と特に変わることはないので、説明を省略する。

【0241】〔第9実施形態〕本発明の第9の実施形態を図23に示す。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8、及び事象推移予測部11、インターロック診断部14から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。

【0242】インターロック診断部14は、異常状態判定部4において観測値が許容範囲を逸脱したと判定されたときに、事象推移予測部11において予測された観測値の予測値とインターロックの作動状況によりインターロックの健全性を診断する。インターロック診断部14における動作を述べると以下ようになる。

【0243】(1) それぞれの観測値がそれぞれの限界

値を突破したときに作動するインターロックを登録しておく。この登録はインターロック診断部14への記憶によって行える。

【0244】(2) 異常状態判定部4で観測値が許容範囲を逸脱したか否かが判定される。

【0245】(3) 観測値が許容範囲を逸脱したときは、制御系の数式モデルに観測値を代入して制御すべき観測値の値(制御値)を求める。

【0246】(4) 事象推移予測部11で予測される観測値の推移に基づき、今後作動すべきインターロックをその作動予定時間とともに登録する。

【0247】(5) 作動予定時刻を経過しても登録したインターロックが作動していないときに、そのインターロックが異常であると判定する。

【0248】(6) (5)においてインターロックが異常であると判定されたときは、異常と判定されたインターロックの情報を状態表示部8へ伝達する。状態表示部8はこの情報に基づきどのセンサが異常であるのかの情報を運転員に提供する。

【0249】以上の(2)から(5)のステップをフローチャートに表したものが図24である。

【0250】図24のMは観測値一般であり、tは観測値相互を識別するための添え字である。ここではインターロックの作動に関連した観測値がm個あるものとしている。「Mが許容範囲から逸脱しているか」の判定61、「観測値Mが変化した場合に作動するインターロックI」とその作動時間Tを予測する」62、「インターロックIが時間Tで作動したか」の判定63、「インターロックIが故障していると診断する」64が上記ステップ(2)から(5)に該当する。

【0251】以上のように第9の実施形態によればインターロックの健全性の判定を自動的に行うことが可能であり、インターロックに故障等の異常が発生した場合に異常を生じたインターロックの情報を速やかに運転員に提供することが可能となる。

【0252】なお、インターロックの診断以外については、第1の実施形態と特に変わることはないので、説明を省略する。

【0253】〔第10実施形態〕本発明の第10の実施形態を図25に示す。プラント1に入力処理部3、異常状態判定部4、モデル生成部5、因果関係導出部6、伝播経路推定部7、状態表示部8、及び変化方向導出部15、異常原因同定部16から構成されたプラント状態監視システム2が接続されている。

【0254】ここで、変化方向導出部15ではモデル生成部5において生成されたプラント動特性の近似モデルを用いて、何らかの異常が発生したときに観測値がどのように変化するかを異常原因毎に導出する。即ち、異常原因を想定しておいてそれぞれの異常原因によって引き起こされる観測値の変化を予測する。異常原因同定部1

6では、実際に測定された観測値の変化方向と変化方向導出部15において導出された予測された観測値の変化方向を比較することにより実際に発生した異常の原因を同定する。状態表示部8は伝播経路推定部7において推定されたプロパゲーション・シーケンスと共に異常原因同定部16で同定された異常原因を表示装置に表示する。

【0255】次に変化方向導出部15及び異常原因同定部16における動作内容の詳細を述べる。変化方向導出部15では以下が行われる。

【0256】(1) 異常状態判定部4において異常が発生したと判定されていないときの運転状態のときにモデル生成部5で生成された近似モデルを用いて、想定される全ての異常原因に対する観測値の変化方向を計算する。

【0257】(2) 計算の結果から、異常原因に対して許容範囲を逸脱する観測値を選別し、その観測値及び変化方向を異常原因ごとに区分して異常パターンデータベースとして登録する。即ち、異常原因とそれに起因して発生した異常状態の間に対応関係がつけられる。

【0258】異常パターンの登録は例えば、既に示した式(4)あるいは式(33)の異常状態表示を利用して行うことができる。

【0259】ステップ(1)、(2)に引き続き異常原因同定部16では以下が行われる。

【0260】(3) 異常状態判定部4で観測値が許容範囲を逸脱したと判定されたときに、許容範囲を逸脱した観測値及びその変化方向のパターン(発生した異常状態)を(2)で作成された異常パターンデータベースと照合する。

【0261】(4) 照合の結果、発生した異常状態(異常とされた観測値とその変化方向のパターン)と一致する異常状態が異常パターンデータベースから発見されたとき、その発見された異常状態の起因となる異常原因を実際に発生した異常原因と推定する。

【0262】異常状態の一致の判定は例えば、式(4)あるいは式(35)の異常状態表示が一致するか否かによって容易に行える。

【0263】(5) 状態表示部8へ推定された異常原因の情報を伝達する。

【0264】(1)、(2)のステップは第1の実施形態で説明した因果関係導出部6での動作内容にほぼ対応するものである。因果関係導出部6ではある観測値が変化した場合にその他の観測値がどのように変化するかを導出するのに対して、上記(1)、(2)は異常原因にたいする観測値の変化を導出する点が相違する。

【0265】異常原因として配管番号jのポンプの停止を例として採り上げ、変化方向導出のステップを説明する。

【0266】(a) ポンプの停止によって昇圧ヘッドP

h_j が 0 になることが考えられるから、近似式 (10)、(13) において $Ph_j = 0$ とおいて式 (10)、(13) を連立し、観測値の時間変化を計算する。

【0267】(b) 計算の結果、流量変動 δW_a と δW_b が正の方向で、流量変動 δW_c と δW_d が負の方向でそれぞれ許容範囲を逸脱したとする。このとき、正方向で許容範囲を逸脱する観測値として δW_a と δW_b を負方向で許容範囲を逸脱する観測値として δW_c と δW_d をそれぞれデータベースとして登録する。

【0268】このようにして異常の原因となりうるものを採り上げ、異常の結果として直接的に変化する観測値から最終的に変化する観測値を導出、登録する。

【0269】何らかの原因によって昇圧ヘッド Ph_j が計画値に対して正の方向に逸脱した場合を例にとり、ステップ (a)、(b) をフローで示すと第 1 実施例のステップ 4 で示した図 5、6 で表される。但し、図 5、6 は既に説明済みであるのでここでは再度の説明は行わない。

【0270】以上のように第 10 の実施形態によれば観測値が許容範囲を逸脱した場合に、その異常の原因を自動的に推定して運転員に情報提供を行うことが可能となる。

【0271】なお、変化方向導出、異常原因同定以外については、第 1 の実施形態と特に変わることはないので、説明を省略する。

【0272】以上、本発明の第 1 の実施態様から第 10 の実施態様までを述べたが、本発明はこれらの実施態様に限定される訳ではなく、本発明の技術思想の範囲内で例えば種々に変形することが可能である。

【0273】プラントの異常状態を判定する際に、式 (2) において計画値が時間と共に設定値を変更しても良い。また、式 (34) で用いた対数平均に対して他の平均方法を適用することもできる。要するにプラントの異常状態の判定は観測値が何らかの設定範囲を逸脱したことを判定できれば良いのであって、設定範囲を時間、場所等で変更すること、あるいは観測値に対して何らかの処理 (平均化処理等) を行うことは本発明の範囲内である。

【0274】これはプラントが定常状態にあるか否かの判定においても同様であり、例えば式 (1) において閾値を時間、場所で変動させても良く、何らかの平均化処理を加えても良い。要はプラントが定常状態であるか、過渡的な状態にあるかを判定できればよい。

【0275】また、既に示したようにプラントの動特性を表す基本式はエネルギー保存則、質量保存則等プラントの動特性を表す式であれば式 (5)、(6) 以外でも適用可能である。このときには基本式の上で非線形な観測値を線形化できるように、定常状態におけるその観測値を振動点としてその観測値からの変位の 2 次以上の項

を無視すればよい。

【0276】また、実施形態では異常状態の伝播経路の推定において予め因果関係部によって作成された因果関係データベースを利用しているが、必ずしも因果関係導出と伝播経路の推定を区分する必要はない。伝播経路を推定する際に必要に応じて因果関係を求めても差し支えない。

【0277】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、プラントが定常状態のときの観測値を振動点とした近似モデルを用いることで、プラントの動特性の模擬を迅速かつ容易に行うことができる。

【0278】また本発明によれば、プラントの異常状態間の因果関係を生成することで、プラントが異常状態にあると判定されたときに異常状態が推移してゆく伝播経路を自動的に推定することができる。

【0279】そして、必要に応じて状態表示部を備えることで、推定した異常状態の伝播経路を運転員へ認知し易い情報として提供することができる。

【0280】また、必要に応じて運転員へ警報発報時の補修要領、操作要領の情報を提供できる。

【0281】さらに、発生した異常状態がその後推移する異常状態の予測、異常原因の同定が可能となり、その情報を運転員に提供することができる。

【0282】さらに加えて、必要に応じてセンサー、制御系、及びインターロックの健全性の診断が可能となる。

【0283】以上のように、本発明によれば異常の伝播経路その他の情報を認知し易い情報として運転員に提供することが可能になり、プラント運転の安定性、安全性の向上に寄与する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

【図 2】本発明の一実施形態における処理フローを示す処理フロー図である。

【図 3】プラントの 1 例を示す図である。

【図 4】本発明の一実施形態に係る因果関係データベースの 1 例を示す図である。

【図 5】本発明の一実施形態に係る因果関係導出の処理フローの 1 例を示したフローチャートの前半部分である。

【図 6】本発明の一実施形態に係る因果関係導出の処理フローの 1 例を示したフローチャートの後半部分である。

【図 7】異常状態間の因果関係全体の 1 例を示した図である。

【図 8】最上流、最下流の異常状態を求める途中の 1 工程を示した図である。

【図 9】最上流、最下流の異常状態が求められた状態を

示した図である。

【図10】異常状態間のプロパゲーションパスを示した図である。

【図11】本発明の一実施形態に係る異常状態間のプロパゲーション・シーケンスを示した図である。

【図12】本発明の一実施形態に係るプロパゲーション・シーケンスを求める処理フローを示したフローチャートである。

【図13】本発明の一実施形態に係るプロパゲーション・シーケンスを求める処理手順の1例を示した図である。

【図14】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

【図15】本発明の一実施形態に係る補修要領の1例を示す図である。

【図16】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

【図17】本発明の一実施形態に係る操作要領の1例を示す図である。

【図18】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

【図19】本発明の一実施形態に係る事象推移予測を行う処理フローの1例を示したフローチャートである。

【図20】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

【図21】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

【図22】本発明の一実施形態に係る制御系の診断を行う処理フローの1例を示したフローチャートである。

【図23】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

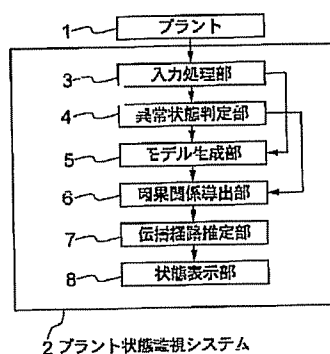
【図24】本発明の一実施形態に係るインターロックの診断を行う処理フローの1例を示したフローチャートである。

【図25】本発明の一実施形態に係る機能構成を示すブロック図である。

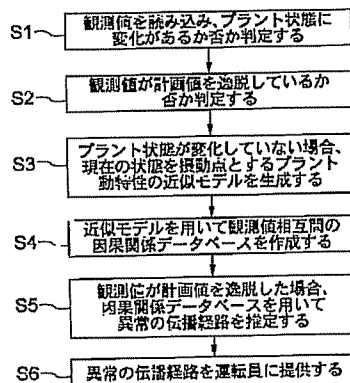
【符号の説明】

- 1 プラント
- 2 プラント状態監視システム
- 3 入力処理部
- 4 異常状態判定部
- 5 モデル生成部
- 6 因果関係導出部
- 7 伝播経路推定部
- 8 状態表示部
- 9 補修要領記憶部
- 10 操作要領記憶部
- 11 事象推移予測部
- 12 センサー診断部
- 13 制御系診断部
- 14 インターロック診断部
- 15 変化方向導出部
- 16 異常原因同定部

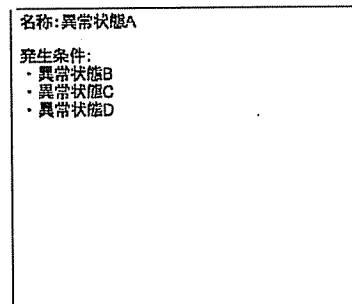
【図1】



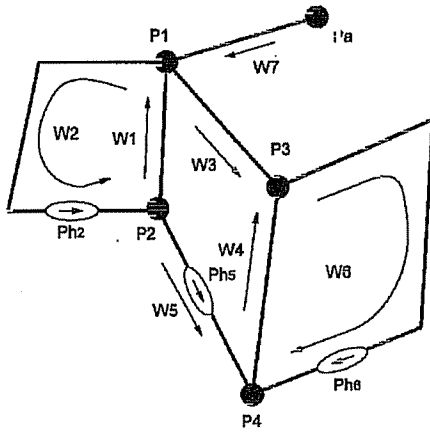
【図2】



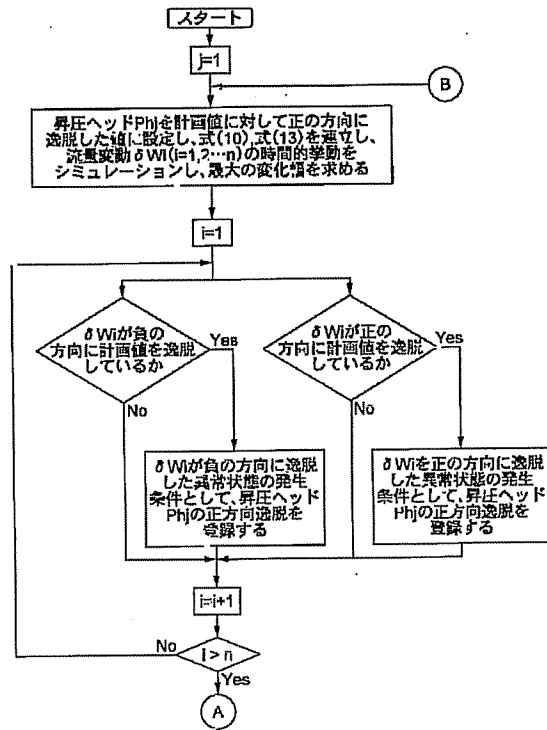
【図4】



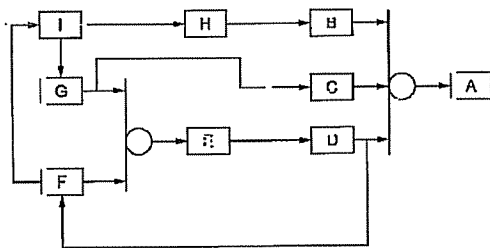
【図3】



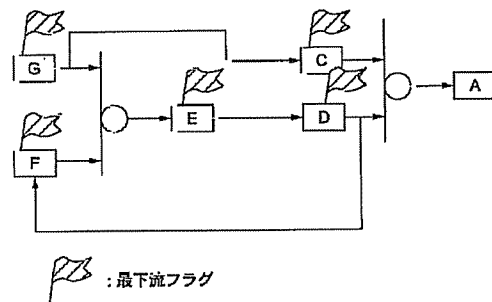
【図5】



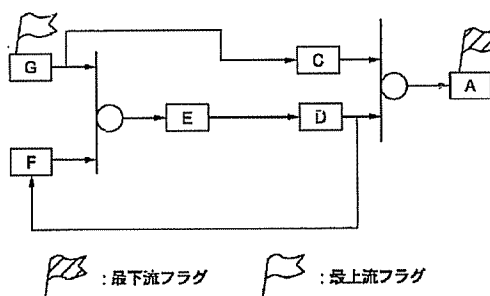
【図7】



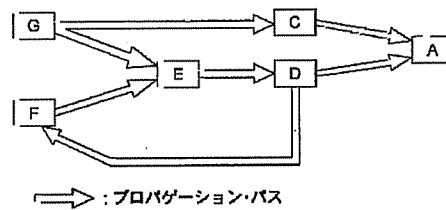
【図8】



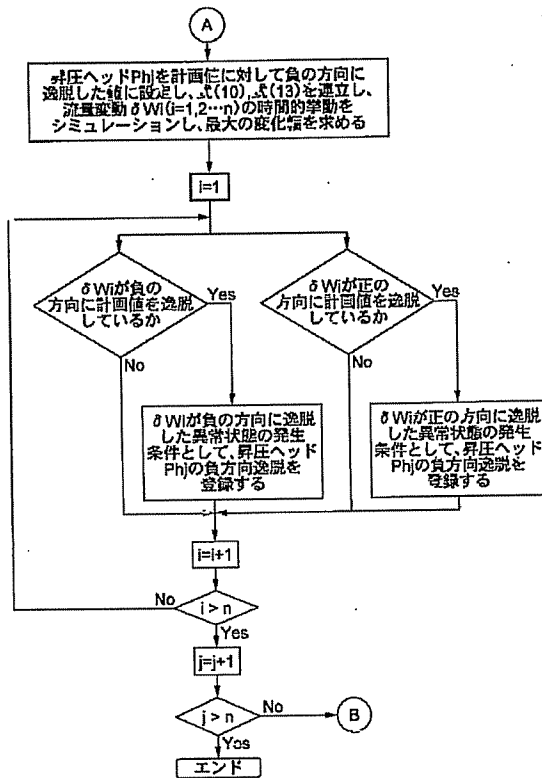
【図9】



【図10】



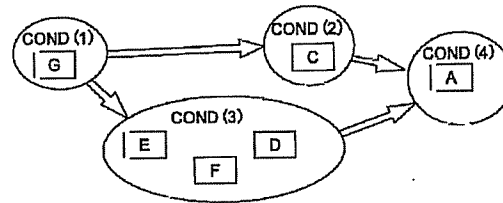
【図6】



【図13】

調査ポイント	調査リスト	異常状態グループ	調査完了状態	ヒスの記録・登録
A	A			
A→C	A, C			
C→G	A, C, G			
G→C	A, C		COND (1)=G	Gの上流としてCOND(1)を記録
C→A	A		COND (2)=C	COND(2)の上流としてCOND(1)を登録、Aの上流としてCOND(2)を記録
A→D	A, D			
D→E	A, D, E			
E→F	A, D, E			
F→D	A, D, E, F			
D→E	A, D, E, F	D, E, F		
E→D	A, D, E, F			Eの上流としてCOND(1)を記録
D→A	A		COND (3)=D, E, F	COND(3)のヒスとしてCOND(1)を登録、Aの上流としてCOND(3)を記録
A			COND (4)=A	COND(4)のヒスとしてCOND(2)及びCOND(3)を登録

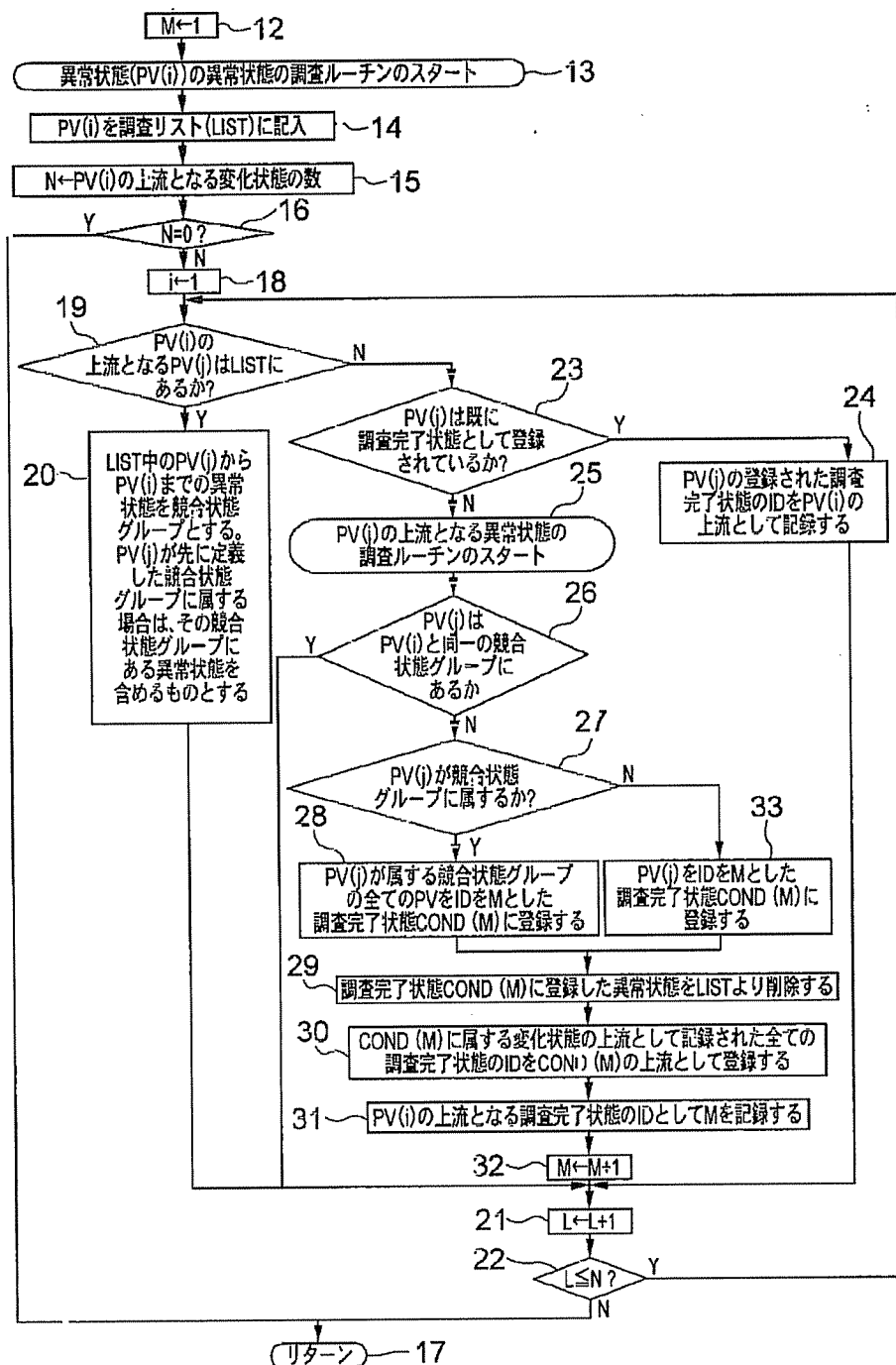
【図11】



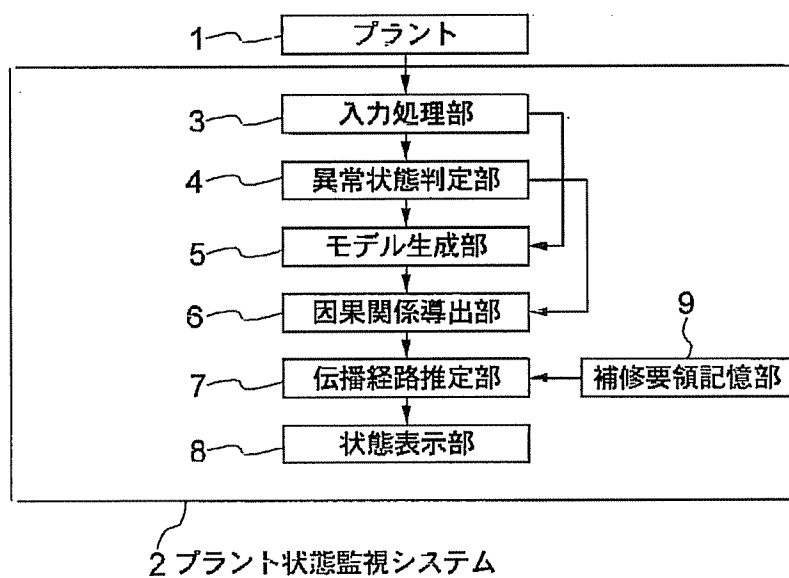
【図15】

- ・ 警報名称:「給水流量低々」
- ・ 補修要領:
 - ① 給水流量計装置の個別警報を調査
 - <計装チャンネル単一故障が発報している場合>
 - 計装チャンネルの故障ボードの交換手順
 - ・ 故障ボードの使用スイッチをOFFにする
 - ・ 故障ボードを引き抜く
 - ・
 - ・
 - ・

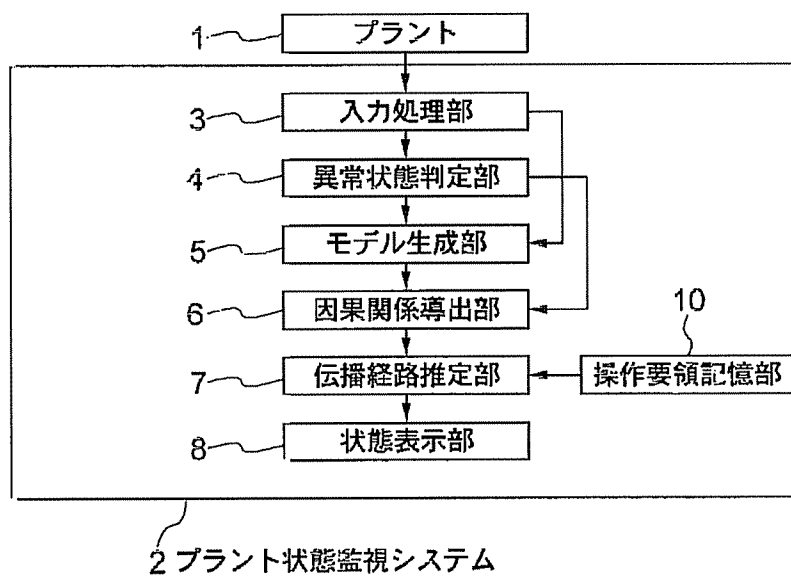
【図12】



【図14】



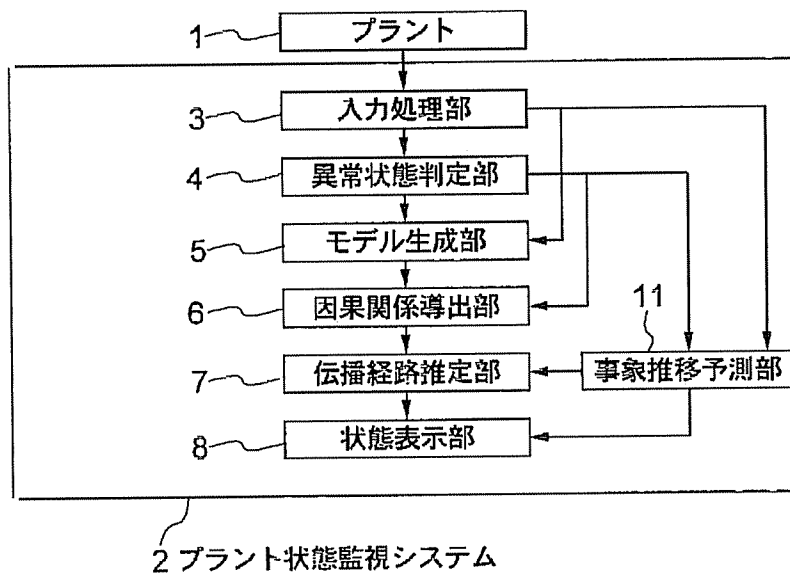
【図16】



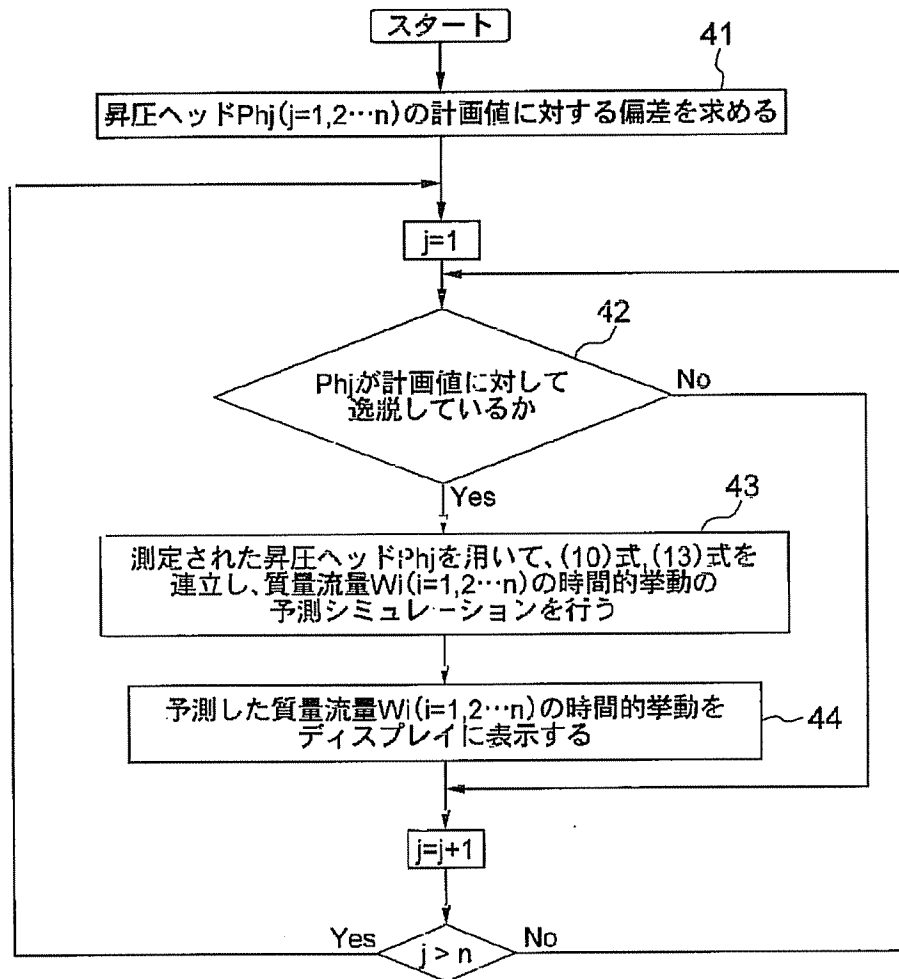
【図17】

- ・警報名称:「給水流量低々」
- ・操作要領:
 - ① 給水流量制御系の制御モードを手動にする。
 - ② 給水流量制御系の手動設定値を回復側に操作する。
 - ・
 - ・
 - ・

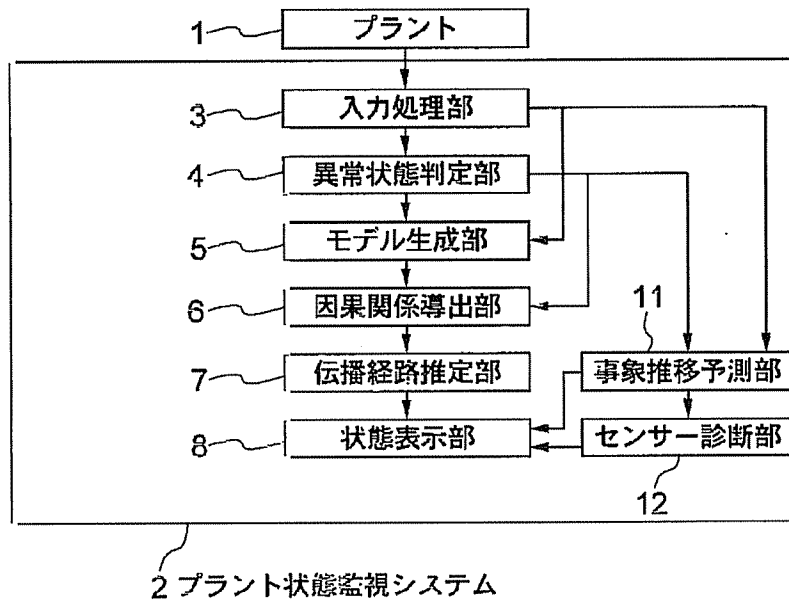
【図18】



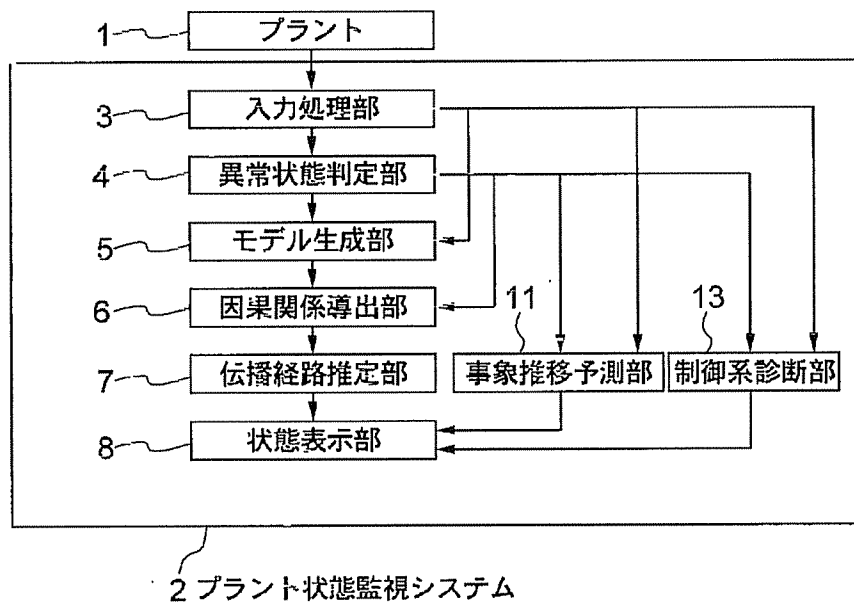
【図19】



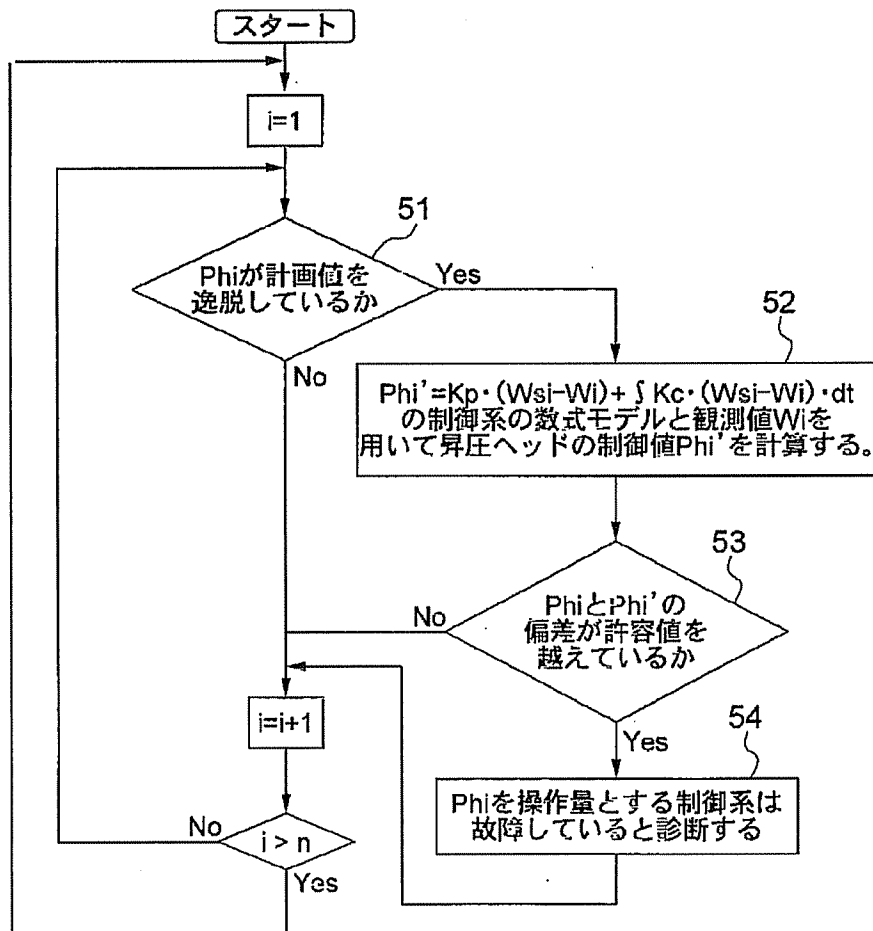
【図20】



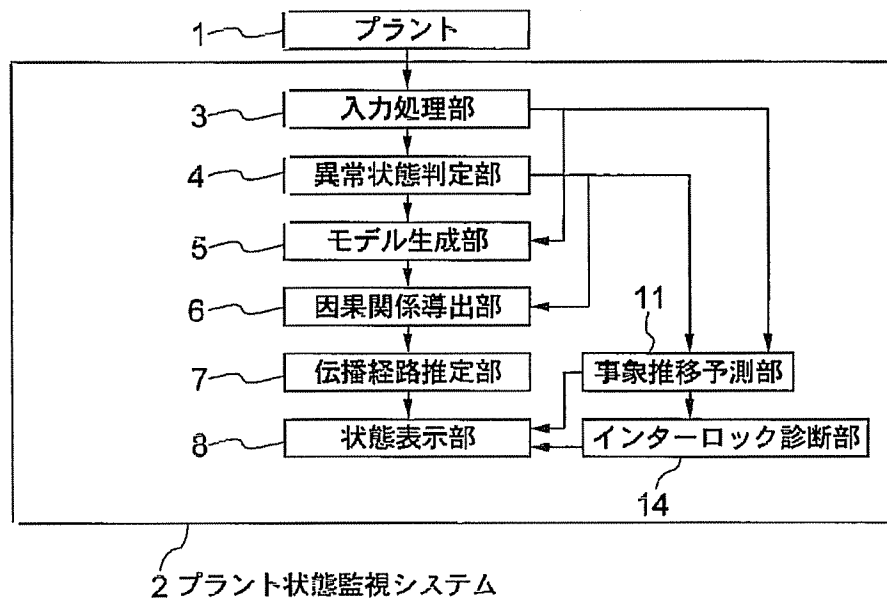
【図21】



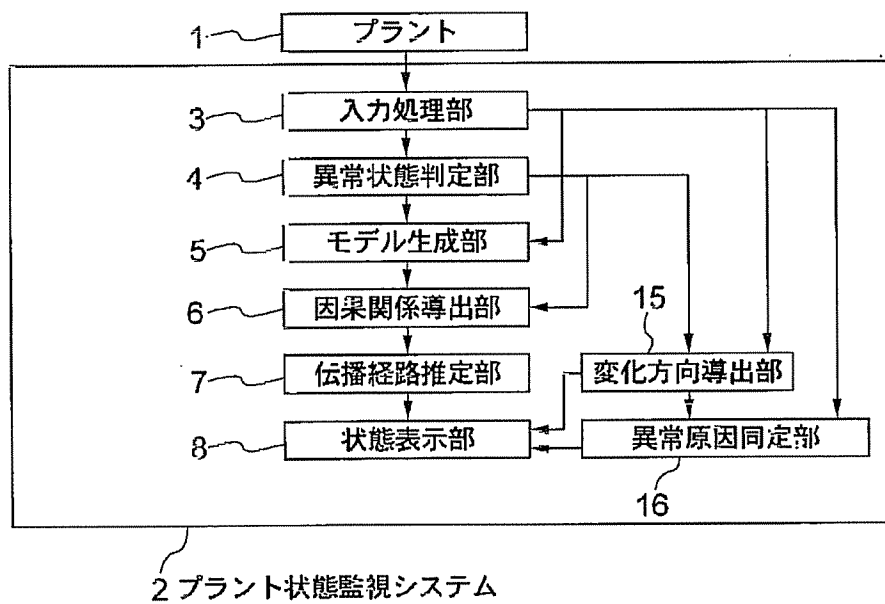
【図22】



【図23】



【図25】



【図24】

